MICHIO KAKU

Autor de *Hiperespaço*

MUNDOS PARALELOS

UMA JORNADA ATRAVÉS DA CRIAÇÃO, DAS DIMENSÕES SUPERIORES E DO FUTURO DO COSMO

ROCCO DIGITAL

MICHIO KAKU

MUNDOS PARALELOS

Uma jornada através da criação, das dimensões superiores e do futuro do cosmo

Tradução de
Talita M. Rodrigues

ROCCO DIGITAL

Este livro é dedicado à minha amada esposa, Shizue

SUMÁRIO

Para pular o Sumário, clique aqui.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos seguintes cientistas que tiveram a gentileza de doar o seu tempo para serem entrevistados. Seus comentários, observações e ideias enriqueceram imensamente este livro e contribuíram para a sua profundidade e foco:

- Steven Weinberg, prêmio Nobel, Universidade do Texas, em Austin
- Murray Gell-Mann, prêmio Nobel, Santa Fe Institute e California Institute of Technology
- Leon Lederman, prêmio Nobel, Illinois Institute of Technology
- Joseph Rotblat, prêmio Nobel, St. Bartholomew's Hospital (aposentado)
- Walter Gilbert, prêmio Nobel, Universidade de Harvard
- Henry Kendall, prêmio Nobel, Massachusetts Institute of Technology (falecido)
- Alan Guth, físico, Massachusetts Institute of Technology
- Sir Martin Rees, astrônomo-real da Grã-Bretanha, Universidade de Cambridge
- Freeman Dyson, físico, Instituto de Estudos Avançados, Universidade de Princeton
- John Schwarz, físico, California Institute of Technology
- Lisa Randall, física, Universidade de Harvard
- J. Richard Gott III, físico, Universidade de Princeton
- Neil de Grasse Tyson, astrônomo, Universidade de Princeton e Hayden Planetarium
- Paul Davies, físico, Universidade de Adelaide
- Ken Croswell, astrônomo, Universidade da Califórnia, Berkeley
- Don Goldsmith, astrônomo, Universidade da Califórnia, Berkeley
- Brian Green, físico, Universidade de Columbia
- Cumrun Vafa, físico, Universidade de Harvard
- Stuart Samuel, físico, Universidade da Califórnia, Berkeley
- Carl Sagan, astrônomo, Universidade de Cornell (falecido)
- Daniel Greenberger, físico, City College de Nova York
- V. P. Nair, físico, City College de Nova York
- Robert P. Kirshner, astrônomo, Universidade de Harvard

- Peter D. Ward, geólogo, Universidade de Washington
- John Barrow, astrônomo, Universidade de Sussex
- Marcia Bartusiak, jornalista científica, Massachusetts Institute of Technology
- John Casti, físico, Santa Fe Institute
- Timothy Ferris, jornalista científico
- Michael Lemonick, escritor científico, revista *Time*
- Fulvio Melia, astrônomo, Universidade do Arizona
- John Horgan, jornalista científico
- Richard Muller, físico, Universidade da Califórnia, Berkeley
- Lawrence Krauss, físico, Universidade Case Western Reserve
- Ted Taylor, projetista de bombas atômicas
- Philip Morrison, físico, Massachusetts Institute of Technology
- Hans Moravec, cientista de computação, Universidade Carnegie Mellon
- Rodney Brooks, cientista de computação, Laboratório de Inteligência Artificial, Massachusetts Institute of Technology
- Donna Shirley, astrofísica, Laboratório de Propulsão a Jato
- Dan Wertheimer, astrônomo, SETI@home, Universidade da Califórnia, Berkeley
- Paul Hoffman, jornalista científico, revista *Discover*
- Francis Everitt, físico, Gravity Probe B, Universidade de Stanford
- Sidney Perkowitz, físico, Universidade de Emory

Gostaria de agradecer também aos seguintes cientistas por terem estimulado durante anos as discussões sobre física, que muito ajudaram a aprimorar o conteúdo deste livro:

- T. D. Lee, prêmio Nobel, Universidade de Columbia
- Sheldon Glashow, prêmio Nobel, Universidade de Harvard
- Richard Feynman, prêmio Nobel, California Institute of Technology (falecido)
- Edward Witten, físico, Instituto de Estudos Avançados, Universidade de Princeton
- Joseph Lykken, físico, Fermilab
- David Gross, físico, Kavli Institute, Santa Barbara
- Frank Wilczek, físico, Universidade da Califórnia, Santa Barbara
- Paul Townsend, físico, Universidade de Cambridge
- Peter Van Nieuwenhuizen, físico, Universidade do Estado de Nova York,

Stony Brook

- Miguel Virasoro, físico, Universidade de Roma
- Bunji Sakita, físico, City College de Nova York (falecido)
- Ashok Das, físico, Universidade de Rochester
- Robert Marshak, físico, City College de Nova York (falecido)
- Frank Tipler, físico, Universidade de Tulane
- Edward Tryon, físico, Hunter College
- Mitchell Begelman, astrônomo, Universidade do Colorado

Quero agradecer a Ken Croswell por inúmeros comentários sobre este livro.

Quero também agradecer ao meu editor, Roger Scholl, que editou magistralmente dois livros meus. Sua mão segura os realçou imensamente, e seus comentários sempre ajudaram a esclarecer e aprofundar o conteúdo e a apresentação. Finalmente, quero agradecer ao meu agente, Stuart Krichevsky, que apregoou os meus livros durante todos estes anos.

PREFÁCIO

A cosmologia é o estudo do universo como um todo, incluindo seu nascimento e, talvez, seu destino final. Não é de surpreender que ela tenha sofrido muitas transformações em sua lenta e dolorosa evolução, muitas vezes ofuscada por dogmas religiosos e superstições.

A primeira revolução na cosmologia foi prenunciada pela introdução do telescópio, no século XVII. Com a ajuda desse instrumento, Galileu Galilei, baseando-se na obra dos grandes astrônomos Nicolau Copérnico e Johannes Kepler, conseguiu revelar pela primeira vez os esplendores dos céus para investigações científicas sérias. As conquistas desse primeiro estágio da cosmologia culminaram na obra de Isaac Newton, que finalmente conseguiu definir as leis fundamentais que regem o movimento dos corpos celestes. Em vez de magia e misticismo, as leis dos corpos celestes passaram a ser vistas como sujeitas a forças que podiam ser computadas e reproduzidas.

Uma segunda revolução na cosmologia foi iniciada com a chegada dos grandes telescópios do século XX, como o do Monte Wilson, com seu enorme espelho refletor de dois metros e meio. Na década de 1920, o astrônomo Edwin Hubble usou este telescópio gigante para subverter séculos de dogmas que diziam que o universo era estático e eterno, ao demonstrar que as galáxias nos céus estão se afastando da Terra em velocidades tremendas – isto é, o universo está se expandindo. Isso confirmava os resultados da teoria da relatividade geral de Einstein, na qual a arquitetura de espaço-tempo, em vez de ser plana e linear, é dinâmica e curva. Foi a primeira explicação plausível para a origem do universo, a de que o universo começou com uma explosão cataclísmica chamada “Big Bang”, que arremessou no espaço estrelas e galáxias. Com o trabalho pioneiro de George Gamow e seus colegas, sobre a teoria do Big Bang, e de Fred Hoyle, sobre a origem dos elementos, surgia uma estrutura fornecendo as linhas gerais para o esboço da evolução do universo.

Uma terceira revolução está agora em marcha. Tem apenas uns cinco anos. Foi introduzida por uma bateria de instrumentos novos, de alta tecnologia, como os satélites espaciais, lasers, detectores de ondas gravitacionais, telescópios de raios X e supercomputadores de alta velocidade. Temos hoje os dados mais confiáveis sobre a natureza do universo, inclusive a sua idade, sua composição e talvez até mesmo de seu futuro e eventualmente sua morte.

Os astrônomos agora percebem que o universo está se expandindo de modo

desenfreado, acelerando sem limites, ficando cada vez mais frio com o tempo. Se isto continuar, estaremos diante da probabilidade do “grande congelamento”, quando o universo é mergulhado na escuridão e no frio, e toda a vida inteligente acaba.

Este meu livro trata desta terceira grande revolução. É diferente dos anteriores sobre física, *Beyond Einstein* e *Hiperespaço*, que ajudaram a apresentar ao público os novos conceitos de dimensões superiores e a teoria das supercordas. Em *Mundos paralelos*, em vez de focalizar no espaço-tempo, concentrei-me nas conquistas revolucionárias da cosmologia ocorridas nos últimos anos, com base em novas evidências obtidas em laboratórios ao redor do mundo e dos pontos mais distantes do espaço, e nos novos avanços na física teórica. É minha intenção que possa ser lido e compreendido sem nenhuma introdução prévia à física ou à cosmologia.

Na Parte I deste livro, enfoco o estudo do universo, resumindo os avanços feitos nos estágios iniciais da cosmologia, culminando na teoria chamada “inflação”, que nos dá a formulação mais avançada até hoje sobre a teoria do Big Bang. Na Parte II, concentro-me especificamente na teoria emergente do multiverso – um mundo feito de múltiplos universos, dos quais o nosso é apenas um – e discuto a possibilidade de buracos de minhoca, dobras do espaço e tempo, e como as dimensões superiores poderiam ligá-las. A teoria das supercordas e a teoria M nos deram o primeiro grande passo além da teoria original de Einstein; elas dão mais indícios de que o nosso universo pode ser um entre muitos. Finalmente, na Parte III, discuto o grande congelamento e o que os cientistas agora veem como o fim do nosso universo. Apresento também uma discussão séria, embora especulativa, de como uma civilização avançada, no futuro distante, poderia usar as leis da física para daqui a trilhões de anos deixar o nosso universo e entrar em outro, mais hospitaleiro, e começar o processo de renascimento, ou voltar no tempo, para quando o universo era mais quente.

Com a enxurrada de novas informações que recebemos atualmente, com novos instrumentos como os satélites espaciais que podem vasculhar os céus, com novos detectores de ondas gravitacionais e com a construção de novos aceleradores de partículas do tamanho de cidades, quase terminados, os físicos acreditam que estamos entrando no que talvez seja a era de ouro da cosmologia. Em resumo, é fantástico ser um físico e um viajante nesta busca para compreender nossas origens e o destino do universo.

PARTE I

O UNIVERSO

CAPÍTULO UM

FOTOS DE BEBÊ DO UNIVERSO

O poeta só pede para colocar a cabeça no céu. É o lógico que busca colocar o céu dentro da sua cabeça. E é a cabeça dele que racha.
– G. K. Chesterton

Quando criança, vivi um conflito quanto às minhas convicções religiosas. Meus pais foram criados na tradição budista. Mas eu frequentava a escola dominical todas as semanas, onde adorava ouvir as histórias bíblicas sobre baleias, arcas, pilares de sal, costelas e maçãs. Ficava fascinado com essas parábolas do Antigo Testamento, que eram aquilo de que eu mais gostava na escola dominical. Eu achava que estas parábolas sobre grandes inundações, sarças ardentes e águas se abrindo eram muito mais excitantes do que os cantos e meditações budistas. De fato, estas lendas antigas de heroísmo e tragédias ilustravam em cores vívidas as profundas lições de moral e ética que me acompanharam a vida toda.

Um dia, na escola dominical, estudamos a Gênese. Ler sobre Deus trovejando lá dos céus, "Faça-se a luz!" soava muito mais dramático do que meditar em silêncio sobre o Nirvana. Numa ingênua curiosidade, perguntei a minha professora: "Deus tinha mãe?" Ela tinha sempre uma resposta na ponta da língua, assim como uma profunda lição moral a oferecer. Mas desta vez ela ficou entalada. Não, respondeu hesitante, Deus provavelmente não teve mãe. "Mas, então, de onde veio Deus?", eu quis saber. Ela resmungou que precisava consultar o pastor sobre isso.

Eu não percebi que havia acidentalmente tropeçado numa das grandes questões teológicas. Fiquei intrigado, porque no budismo não existe um Deus, mas um universo eterno sem começo nem fim. Depois, quando comecei a estudar as grandes mitologias do mundo, aprendi que havia dois tipos de cosmologia na religião, a primeira, baseada num único momento em que Deus criou o universo, e a segunda, baseada na ideia de que o universo sempre existiu e sempre existirá.

Não era possível que as duas estivessem certas, pensei.

Mais tarde, comecei a ver que estes temas comuns entremeavam muitas outras culturas. Para a mitologia chinesa, por exemplo, no início havia apenas o ovo cósmico. O deus bebê P'an Ku residiu por quase uma eternidade dentro do ovo,

que flutuava num mar informe de Caos. Quando finalmente eclodiu, P’an Ku cresceu muito, mais de três metros por dia, de forma que a metade superior do ovo ficou sendo o céu e a inferior, a terra. Passaram-se 18 mil anos, P’an Ku morreu para dar origem ao nosso mundo: o seu sangue se transformou em rios; os olhos, no sol e na lua; e sua voz, no trovão.

De muitas maneiras, o mito de P’an Ku espelha um tema encontrado em várias outras religiões e mitologias antigas, o de que o universo surgiu de repente *creatio ex nihilo* (criado do nada). Na mitologia grega, o universo começou num estado de caos (de fato, a palavra “caos” vem do grego e significa “abismo”). Este vazio sem forma nem traços característicos é com frequência descrito como um oceano, como nas mitologias babilônica e japonesa. Este tema é encontrado na mitologia do antigo Egito, onde o deus sol Rá emergiu de um ovo flutuante. Na mitologia polinésia, o ovo cósmico é substituído por uma casca de coco. Os maias acreditavam numa variação desta lenda, na qual o universo nasce, mas acaba morrendo depois de cinco mil anos, para ressurgir de novo, sem parar, repetindo um ciclo interminável de nascimento e destruição.

Esses mitos do tipo *creatio ex nihilo* contrastam nitidamente com a cosmologia segundo o budismo e certas formas de hinduísmo. Nestas mitologias, o universo é atemporal, sem começo nem fim. Existem muitos níveis de existência; o mais alto porém é o Nirvana, que é eterno e pode ser alcançado apenas por meio da mais pura meditação. No *Mahapurana* hindu, está escrito: “Se Deus criou o mundo, onde estava Ele antes da Criação?... Saiba que o mundo não foi criado, como o próprio tempo, e não tem começo nem fim.”

Estas mitologias se contradizem, sem nenhuma aparente solução entre elas. São mutuamente exclusivas: ou o universo teve um início ou não teve. Não há, pelo visto, um meio-termo.

Hoje, entretanto, parece estar aflorando uma solução que vem de uma direção totalmente nova – o mundo da ciência – como o resultado de uma nova geração de poderosos instrumentos científicos que pairam no espaço cósmico. A mitologia antiga dependia da sabedoria dos contadores de histórias para explicar as origens do nosso mundo. Hoje, os cientistas estão lançando uma bateria de satélites espaciais, lasers, detectores de ondas gravitacionais, interferômetros, supercomputadores de alta velocidade e a internet, revolucionando, no caminho, a nossa compreensão do universo e dando-nos a descrição mais fascinante até agora da sua criação.

O que surge, pouco a pouco, dos dados obtidos é uma grande síntese destas duas mitologias opostas. Talvez, especulam os cientistas, a Gênese ocorra repetidamente num oceano atemporal de Nirvana. Neste novo quadro, talvez seja possível comparar o nosso universo com uma bolha flutuando num “oceano”

muito maior, com novas bolhas formando-se o tempo todo. Segundo esta teoria, os universos, como bolhas que se formam na água fervendo, estão em contínua criação, flutuando numa arena muito maior, o Nirvana do hiperespaço em onze dimensões. Um número crescente de físicos sugere que nosso universo surgiu mesmo de repente, de um faiscante cataclisma, o Big Bang, mas que ele também coexiste num oceano eterno de outros universos. Se estivermos certos, big bangs estão acontecendo enquanto você lê esta frase.

Físicos e astrônomos no mundo inteiro hoje especulam sobre como seriam estes mundos paralelos, a que leis eles obedecerão, como nasceram e como poderão acabar morrendo. Talvez estes mundos paralelos sejam estéreis, sem os ingredientes básicos para a vida. Ou quem sabe sejam exatamente como o nosso universo, separados por um único evento quântico que os fez divergirem do nosso. E um pequeno número de cientistas especula que talvez um dia, se a vida se tornar insustentável no nosso universo atual à medida que ele envelhecer e resfriar, sejamos obrigados a abandoná-lo e fugir para outro universo.

O motor destas novas teorias é a imensa torrente de informações que jorra de nossos satélites espaciais à medida que fotografam vestígios da própria criação. De uma forma extraordinária, os cientistas estão mirando direto para o que aconteceu a meros 380 mil anos depois do Big Bang, quando o “resplendor” da criação tomou conta do universo. Talvez a foto mais fascinante desta radiação proveniente da criação esteja chegando de um novo instrumento chamado satélite WMAP.

O SATÉLITE WMAP

“Inacreditável!”, “Um marco decisivo!” foram algumas das palavras pronunciadas em fevereiro de 2003 por astrofísicos, em geral cheios de reserva, ao descreverem os dados preciosos colhidos de seu satélite mais recente. O WMAP (Sonda Anisotrópica de Microondas Wilkinson), com o nome do cosmólogo pioneiro David Wilkinson e lançado em 2001, deu aos cientistas uma imagem detalhada do início do universo, quando ele tinha meros 380 mil anos de idade, com uma precisão nunca vista. A energia colossal restante da bola de fogo original, que deu origem a estrelas e galáxias, vem circulando ao redor do nosso universo há bilhões de anos. Hoje, ela foi finalmente capturada em seus mínimos detalhes pelo satélite WMAP, produzindo um mapa jamais visto, uma foto do céu que mostra em surpreendentes detalhes a radiação de microondas criada pelo Big Bang, que a revista Time chamou de “eco da criação”. Nunca mais os

astrônomos olharão para o céu do mesmo modo.

As constatações do satélite WMAP representam “para a cosmologia, um rito de passagem da especulação para a ciência exata”,[1] declarou John Bahcall do Instituto de Estudos Avançados de Princeton. Pela primeira vez, este dilúvio de informações desde o início da história do universo permitiu aos cosmólogos responder com precisão à mais antiga de todas as questões, que confunde e intriga a humanidade desde que olhamos pela primeira vez para a beleza celestial resplandecente do céu noturno. Qual é a idade do universo? De que ele é feito? Qual o destino do universo?

(Em 1992, um satélite anterior, o COBE [Satélite Explorador do Fundo Cósmico], nos deu as primeiras fotografias borradas desta radiação de fundo que ocupa o céu. Embora este resultado fosse revolucionário, foi também frustrante porque produziu um quadro muito desfocado do início do universo. Isto não impediu a imprensa animada de apelidar a foto de “a face de Deus”. Uma descrição mais precisa das fotos sem nitidez do COBE seria a de que elas representavam uma “foto de bebê” do universo-criança. Se o universo hoje é um homem de oitenta anos, as fotos do COBE, e depois as do WMAP, mostram-no como um recém-nascido, com menos de um dia de vida.)

A razão do satélite WMAP poder nos dar fotos sem precedentes do universo-bebê é porque o céu noturno é como uma máquina do tempo. Como a luz viaja a uma velocidade finita, as estrelas que vemos de noite são observadas como eram, não como são hoje. Leva um pouco mais de um segundo para a luz que vem da Lua chegar à Terra, portanto, quando olhamos a Lua, nós a vemos, na verdade, como era um segundo antes. Leva cerca de oito minutos para a luz viajar do Sol até a Terra. Do mesmo modo, muitas estrelas conhecidas que vemos nos céus encontram-se tão distantes que leva de dez a cem anos para que a sua luz chegue aos nossos olhos. (Em outras palavras, elas ficam de 10 a 100 anos-luz da Terra. Um ano-luz significa aproximadamente nove trilhões e meio de quilômetros ou a distância que a luz percorre em um ano.) A luz de galáxias distantes pode estar a centenas de milhões ou bilhões de anos-luz de nós. Consequentemente, elas representam luz “fóssil”, algumas emitidas antes ainda do surgimento dos dinossauros. Alguns dos objetos mais longínquos que podemos ver com nossos telescópios chamam-se quasares, enormes motores galácticos que geram uma quantidade inacreditável de energia, próximos da margem do universo visível, que pode estar até 12 ou 13 bilhões de anos-luz da Terra. E agora o satélite WMAP detectou a radiação emitida até antes disso, a que vem da bola de fogo original que criou o universo.

Para descrever o universo, os cosmólogos, às vezes, usam o exemplo da pessoa que olha do alto do Empire State Building, que se eleva a mais de cem

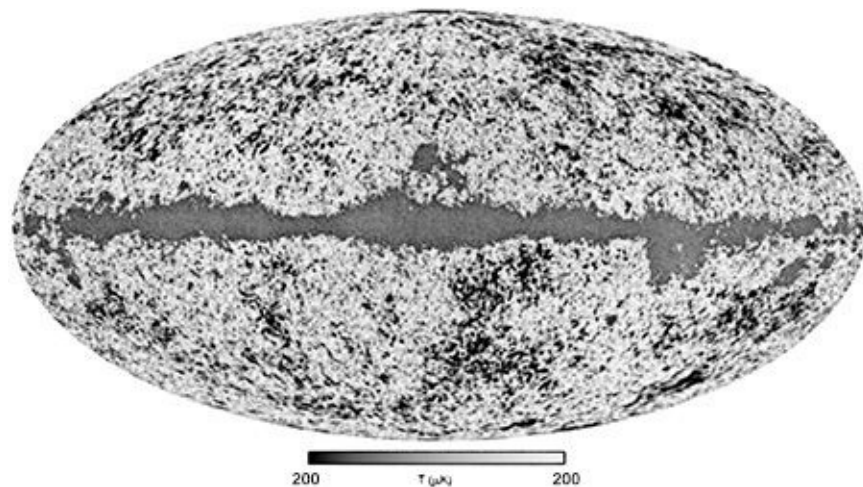
andares sobre Manhattan. Lá de cima, mal se vê o nível da rua. Se a base do Empire State representa o Big Bang, então, olhando de cima para baixo, as galáxias distantes estariam localizadas no décimo andar. Os quasares distantes enxergados pelos telescópios na Terra estariam no sétimo andar. O fundo cósmico medido pelo satélite WMAP estaria apenas meia polegada acima da rua. E, agora, o satélite WMAP nos deu a medida exata da idade do universo com uma surpreendente precisão de 1 por cento: 13,7 bilhões de anos.

A missão WMAP é o apogeu de mais de uma década de muito trabalho dos astrofísicos. O conceito do satélite WMAP foi proposto pela primeira vez à NASA em 1995 e aprovado dois anos depois. Em 30 de junho de 2001, a NASA enviou o satélite WMAP a bordo de um foguete Delta II para a órbita solar empoleirada entre a Terra e o Sol. O destino foi cuidadosamente escolhido para ser o ponto de Lagrange 2 (ou L2, um ponto especial de relativa estabilidade perto da Terra). Deste ponto de observação, o satélite sempre aponta na direção oposta à do Sol, da Terra e da Lua e, portanto, tem uma visão totalmente desobstruída do universo. Ele varre o céu todo a cada seis meses.

Sua instrumentação é a mais avançada. Com seus poderosos sensores, é capaz de detectar a fraca radiação de microondas que restou do Big Bang e que banha o universo, mas é quase toda absorvida pela nossa atmosfera. O satélite, feito de um composto de alumínio, mede 3,8 por 5 metros e pesa 840 quilos. Tem dois telescópios, um de costas para o outro, que focalizam a radiação de microondas que vem do céu ao seu redor e no final transmitem os dados para a Terra via rádio. É acionado por apenas 419 watts de eletricidade (a energia de cinco lâmpadas comuns). A um milhão e meio de quilômetros distante da Terra, o satélite WMAP está bem acima das perturbações atmosféricas, que podem mascarar o fraco fundo de microondas, e consegue fazer leituras contínuas de todo o céu.

O satélite completou sua primeira observação do céu inteiro em abril de 2002. Seis meses depois, foi feita a segunda observação completa do céu. Hoje, o satélite WMAP nos fornece o mapa mais amplo e detalhado desta radiação jamais produzido. A radiação de microondas de fundo que o WMAP detectou foi prevista pela primeira vez por George Gamow e seu grupo em 1948, que também notaram que esta radiação tem uma temperatura associada. Segundo as medições do WMAP, esta temperatura está logo acima do zero absoluto, ou entre 2,7249 e 2,7251 graus Kelvin.

A olho nu, o mapa celeste do WMAP parece bastante sem graça; é apenas um conjunto de pontos ao acaso. Entretanto, este conjunto de pontos levou alguns astrônomos quase às lágrimas, pois representam flutuações ou irregularidades no cataclisma original, flamejante, do Big Bang logo depois de criado o universo.

Estas minúsculas flutuações são como “sementes” que desde então expandiram-se enormemente à medida que o próprio universo explodia. Hoje, estas minúsculas sementes floresceram nos aglomerados galácticos e galáxias que vemos iluminando os céus. Em outras palavras, a nossa própria galáxia, a Via Láctea, e todos os aglomerados galácticos que vemos a nossa volta foram um dia uma destas minúsculas flutuações. Medindo a distribuição destas flutuações, vemos a origem dos aglomerados galácticos, pontilhados na tapeçaria cósmica, pairando sobre o céu noturno.

Esta é uma “foto de bebê” do universo, como era quando tinha apenas 380.000 anos de idade, tirada pelo satélite WMAP. Cada ponto representa provavelmente uma flutuação quântica minúscula no esplendor da criação, que se expandiu para criar as galáxias e aglomerados galácticos que vemos hoje.

Atualmente, o volume de dados astronômicos está crescendo mais rápido do que as teorias dos cientistas. De fato, eu diria que estamos entrando numa era de ouro da cosmologia. (Por mais impressionante que o WMAP seja, ele provavelmente será superado pelo satélite Planck, que os europeus irão lançar em 2007; o Planck dará aos astrônomos fotografias ainda mais detalhadas desta radiação de microondas cósmica.) A cosmologia hoje está finalmente chegando à maioridade, saindo das sombras da ciência depois de passar anos desfalecendo num atoleiro de especulações e conjecturas delirantes. Historicamente, os cosmólogos padeceram com uma reputação ligeiramente desagradável. A paixão com que propuseram teorias grandiosas do universo só se equipara à espantosa pobreza de seus dados. Como o prêmio Nobel Lev Landau gostava de brincar, “os cosmólogos frequentemente erram, porém jamais estão em dúvida”. As ciências têm um velho ditado: “Existe a especulação, depois mais especulação, e aí vem a cosmologia.”

Especializando-me em física na Universidade de Harvard no final da década

de 1960, cheguei a pensar na possibilidade de estudar cosmologia. Desde criança, a origem do universo sempre me fascinou. Entretanto, um rápido olhar na área mostrou que ela era constrangedoramente primitiva. Não era uma ciência experimental, onde se pode testar hipóteses com instrumentos precisos, mas sim um conjunto de teorias soltas e muito especulativas. Os cosmólogos travavam debates acalorados sobre se o universo surgira de uma explosão cósmica ou se sempre existira num estado estacionário. Mas, com dados tão escassos, as teorias rapidamente os ultrapassavam. Na verdade, quanto menos dados, mais acalorado o debate.

Ao longo de toda a história da cosmologia, esta pobreza de dados confiáveis também levou a rixas desagradáveis e longas entre os astrônomos, que muitas vezes duravam décadas. (Por exemplo, pouco antes do astrônomo Allan Sandage, do Observatório Mount Wilson, dar uma palestra sobre a idade do universo, o orador anterior anunciou com sarcasmo: “O que os senhores vão escutar em seguida está completamente errado.”[2] E Sandage, sabendo que um grupo rival havia criado um bocado de publicidade, vociferou: “Isto é um monte de bobagem. É guerra – é guerra!”[3])

A IDADE DO UNIVERSO

Os astrônomos têm se interessado muito em saber a idade do universo. Durante séculos, estudiosos, padres e teólogos tentaram estimar a idade do universo usando o único método disponível: a genealogia da humanidade desde Adão e Eva. No século passado, os geólogos usaram a radiação residual armazenada nas rochas para fazer a melhor estimativa sobre a idade da Terra. Em comparação, o satélite WMAP hoje mediu o eco do próprio Big Bang para nos dar a mais idônea idade do universo. Os dados do WMAP revelam que o universo nasceu numa explosão flamejante há 13,7 bilhões de anos.

(Durante anos, um dos fatos mais desconcertantes que atormentavam a cosmologia foi o de que calculavam que o universo era mais jovem do que os planetas e estrelas, devido a dados errôneos. Estimativas anteriores para a idade do universo eram tão pequenas quanto 1 a 2 bilhões de anos, o que contradizia a idade da Terra [4,5 bilhões de anos] e das estrelas mais velhas [12 bilhões de anos]. Estas contradições agora foram eliminadas.)

O WMAP acrescentou uma nova e estranha direção às discussões sobre de que é feito o universo, pergunta que os gregos faziam há mais de 2 mil anos. Durante o século passado, os cientistas acreditavam saber a resposta. Depois de

milhares de experimentos esmerados, os cientistas concluíram que o universo era feito basicamente de uma centena de tipos diferentes de átomos, organizados numa tabela periódica metódica, começando com o hidrogênio elementar. Esta é a base da química moderna e, de fato, é ensinada em todas as aulas de ciência do ensino médio. O WMAP agora derrubou esta crença.

Confirmando experiências anteriores, o satélite WMAP mostrou que a matéria visível que observamos a nossa volta (incluindo montanhas, planetas, estrelas e galáxias) compõe reles 4 por cento de todo o conteúdo de matéria e energia do universo. (Destes 4 por cento, a maior parte está na forma de hidrogênio e hélio, e provavelmente apenas 0,03 por cento assume a forma de elementos pesados.) Quase todo o universo é, na verdade, feito de um material invisível, misterioso e de origem totalmente desconhecida. Os elementos familiares que compõem o nosso mundo constituem apenas 0,03 por cento do universo. Em certo sentido, a ciência está sendo lançada de volta a séculos no passado, antes do surgimento da hipótese atômica, à medida que os físicos se veem às voltas com o fato de o universo ser dominado por formas desconhecidas e inteiramente novas de matéria e energia.

Segundo o WMAP, 23 por cento do universo é composto de uma substância estranha, indeterminada, chamada matéria escura, que tem peso, cerca as galáxias num halo gigantesco, mas é completamente invisível. A matéria escura é tão difusa e abundante que, na nossa própria galáxia, a Via Láctea, excede todas as estrelas por um fator de 10. Embora invisível, esta estranha matéria escura pode ser observada indiretamente pelos cientistas porque ela curva a luz das estrelas, assim como o vidro, e portanto pode ser localizada pelo número de distorções óticas criadas.

Referindo-se aos estranhos resultados obtidos com o satélite WMAP, o astrônomo de Princeton John Bahcall disse: “Vivemos num universo louco, implausível, mas cujas características definidoras agora conhecemos.”[4]

Mas talvez a maior surpresa causada pelos dados do WMAP, dados que deixaram a comunidade científica tonta, foi a de que 73 por cento do universo, de longe a maior quantidade, é composta de uma forma totalmente desconhecida de energia chamada energia escura, ou a energia invisível oculta no vácuo do espaço. Apresentada pelo próprio Einstein, em 1917, e depois descartada (ele a chamou de seu “maior erro”), a energia escura, ou a energia do nada ou do espaço vazio, está agora ressurgindo como a força motriz de todo o universo. Acredita-se hoje que esta energia escura cria um novo campo de antigravidade que está afastando as galáxias. O destino final do próprio universo será determinado pela energia escura.

Ninguém atualmente sabe de onde vem esta “energia do nada”. “Francamente,

nós não a compreendemos. Sabemos quais são os seus efeitos [mas] somos totalmente ignorantes... todo mundo é ignorante quanto a isso”,[5] reconhece Craig Hogan, um astrônomo da Universidade de Washington, em Seattle.

Se pegarmos a mais recente teoria das partículas subatômicas e tentarmos calcular o valor desta energia escura, encontraremos um número perto de 10^{120} (esse é o número 1 seguido de 120 zeros). Esta discrepância entre teoria e experimento é, de longe, a maior divergência jamais encontrada na história da ciência. É um dos nossos maiores embaraços – a nossa melhor teoria não pode calcular o valor da maior fonte de energia de todo o universo. Sem dúvida, existe uma prateleira repleta de prêmios Nobel esperando por indivíduos empreendedores capazes de revelar o mistério da matéria escura e da energia escura.

INFLAÇÃO

Os astrônomos ainda estão tentando atravessar esta avalanche de dados do WMAP. À medida que são eliminados antigos conceitos sobre o universo, vem surgindo um novo quadro cosmológico. “Lançamos a pedra fundamental de uma teoria coerente e unificada do cosmo”,[6] declara Charles L. Bennett, que liderou uma equipe internacional que ajudou a construir e analisar o satélite WMAP. Até agora, a principal teoria é a do “universo inflacionário”, um importante aprimoramento da teoria do Big Bang, proposta pelo físico Alan Guth, do MIT. No cenário inflacionário, no primeiro trilionésimo de trilionésimo de segundo, uma misteriosa força de antigravidade fez o universo se expandir muito mais rápido do que originalmente se pensava. O período inflacionário foi inconcebivelmente explosivo, com o universo expandindo muito mais rápido do que a velocidade da luz. (Isto não desobedece à lei de Einstein de que nada pode viajar mais rápido do que a luz, porque é espaço vazio que está se expandindo. Para objetos materiais, a barreira da luz não pode ser quebrada.) Numa fração de segundo, o universo expandiu por um fator inimaginável de 10^{50}.

Para visualizar a potência deste período inflacionário, imagine um balão que está sendo rapidamente inflado, com as galáxias pintadas na superfície. O universo que vemos povoado pelas estrelas e galáxias está todo na superfície do balão, e não no seu interior. Agora desenhe um círculo microscópico no balão. Este círculo minúsculo representa o universo visível, tudo que vemos com nossos telescópios. (Por comparação, se todo o universo visível fosse do tamanho de uma partícula subatômica, então o universo real seria muito maior

do que o universo visível que observamos a nossa volta.) Em outras palavras, a expansão inflacionária foi tão intensa que existem regiões inteiras do universo fora do nosso universo visível e que jamais estarão ao nosso alcance.

A inflação foi tão grande, na verdade, que o balão parece chato próximo de nós, um fato que foi verificado experimentalmente pelo satélite WMAP. Do mesmo modo que a Terra nos parece chata porque somos tão pequenos comparados com o raio da Terra, o universo parece chato apenas porque está curvado numa escala muito maior.

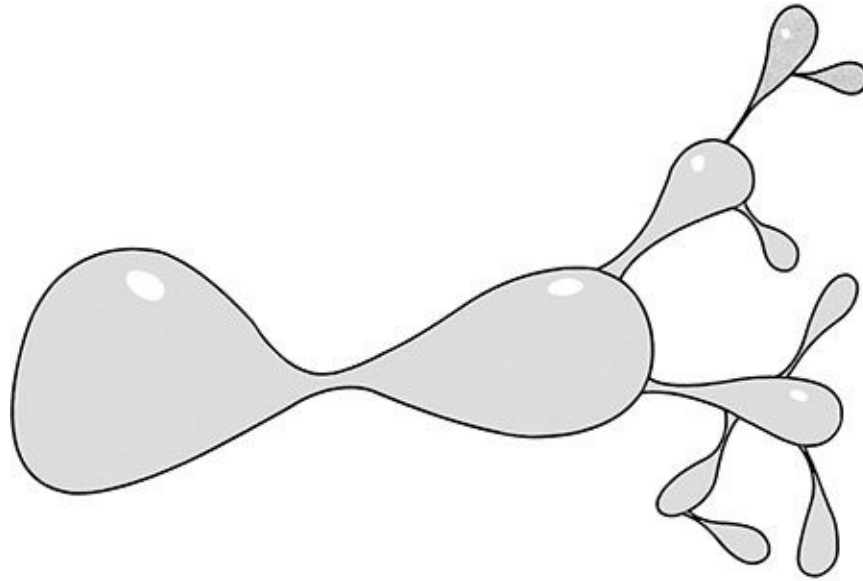
Admitindo-se que o universo primordial passou por um processo de inflação, pode-se, quase sem nenhum esforço, explicar muitos dos enigmas com relação a ele como, por exemplo, por que parece chato e uniforme. Ao comentar sobre a teoria da inflação, o físico Joel Primack disse: “Nenhuma teoria tão bela quanto esta jamais esteve errada antes.”[7]

O MULTIVERSO

O universo inflacionário, embora coerente com os dados do satélite WMAP, ainda não responde à pergunta: o que causou a inflação? O que disparou esta força de antigravidade que inflou o universo? Há mais de cinquenta propostas explicando o que detonou a inflação e o que no final a fez parar, criando o universo que vemos a nossa volta. Mas não existe um consenso universal. A maioria dos físicos cerra fileiras em torno da ideia central de um rápido período inflacionário, mas não existe uma proposta definitiva que responda qual é o mecanismo por trás da inflação.

Como ninguém sabe exatamente como começou a inflação, sempre existe a possibilidade de que o mesmo mecanismo volte a ocorrer – que explosões inflacionárias possam acontecer repetidamente. Esta é a ideia proposta pelo físico russo Andrei Linde, da Universidade de Stanford – a de que, seja qual for o mecanismo que fez parte do universo inflar de repente, ele ainda está funcionando, talvez fazendo aleatoriamente com que outras regiões distantes do universo também inflem.

De acordo com esta teoria, um pequeno pedaço do universo pode de repente inflar e “germinar”, fazendo brotar um universo “filho” ou universo “bebê”, que, por sua vez, pode desabrochar em outro universo bebê, com este processo de germinação continuando para sempre. Imagine soprar bolhas de sabão no ar. Se soprarmos com muita força, vemos que algumas se dividem em duas e geram novas bolhas de sabão. Do mesmo modo, universos podem estar continuamente

gerando novos universos. Neste cenário, os big bangs vêm acontecendo continuamente. Se verdadeiro, podemos estar vivendo num mar desses universos, como uma bolha flutuando num oceano de outras bolhas. De fato, uma palavra melhor do que "universo" seria "multiverso" ou "megaverso".

Crescem as evidências teóricas em apoio à existência do multiverso, na qual universos inteiros surgem continuamente ou "brotam" de outros universos. Se verdadeiro, seria a unificação de duas das maiores mitologias religiosas, a Gênese e a Nirvana. A Gênese ocorreria continuamente dentro do tecido do Nirvana eterno.

Linde chama esta teoria de inflação eterna, autorreprodutível ou "inflação caótica", porque ele imagina um processo interminável de inflação contínua de universos paralelos. "A inflação realmente nos obriga à ideia de universos múltiplos",[8] declara Alan Guth, o primeiro a propor a teoria da inflação.

Esta teoria também implica que o nosso universo pode, em algum momento, gerar o seu próprio universo bebê. Talvez o nosso próprio universo tenha começado brotando de um universo inicial, mais antigo.

Como disse o astrônomo real da Grã-Bretanha *Sir* Martin Rees: "O que chamamos convencionalmente de 'o universo' pode ser apenas um dos elementos de um conjunto. Devem existir inúmeras outras maneiras nas quais as leis são diferentes. O universo no qual estamos imersos pertence ao insólito subconjunto que permite que se desenvolvam a complexidade e a consciência."[9]

Toda esta atividade de pesquisa sobre o assunto do mutiverso deu origem a especulações a respeito de como seriam estes outros universos, se contêm vida e até se é possível que acabemos fazendo contato com eles. Cientistas do Cal Tech,

do MIT, de Princeton e de outros centros de estudo realizaram cálculos para determinar se entrar num universo paralelo é coerente com as leis da física.

A TEORIA M E A DÉCIMA PRIMEIRA DIMENSÃO

A própria ideia de universos paralelos já foi vista com desconfiança pelos cientistas, que os consideram território de místicos, charlatães e excêntricos. Qualquer cientista que ousasse trabalhar com universos paralelos estava sujeito ao ridículo e colocava em risco a sua carreira, visto que ainda hoje não existe nenhuma evidência experimental que preveja a sua existência.

Mas recentemente a maré virou de forma drástica, com os maiores intelectos do planeta trabalhando como loucos no assunto. A razão para esta súbita mudança é a chegada de uma nova teoria, a teoria das cordas, e sua versão mais recente, a teoria M, que promete não apenas revelar a natureza do multiverso, mas também nos permitir "ler a mente de Deus", como Einstein uma vez expressou com eloquência. Se estiver correta, representará a conquista culminante dos últimos 2 mil anos de pesquisa na física, desde quando os gregos começaram a buscar uma teoria do universo única, ampla e coerente.

A quantidade de artigos publicados sobre a teoria das cordas e a teoria M é assombrosa, chegando a dezenas de milhares. Centenas de conferências internacionais foram realizadas sobre o tema. Todas as principais universidades do mundo ou têm um grupo trabalhando na teoria das cordas, ou estão tentando desesperadamente aprender a respeito. Embora a teoria não possa ser testada com nossos frágeis instrumentos atuais, ela despertou um enorme interesse entre físicos, matemáticos e até experimentalistas que esperam testar a periferia da teoria no futuro com poderosos detectores de ondas gravitacionais no espaço cósmico e enormes aceleradores de partículas.

Em última análise, esta teoria talvez responda à pergunta que persegue os cosmólogos desde que foi proposta a teoria do Big Bang: o que aconteceu antes do Big Bang?

Isto nos obriga a colocar em ação todo o potencial do nosso conhecimento sobre física, sobre todas as descobertas da física acumuladas ao longo dos séculos. Em outras palavras, precisamos de uma "teoria de tudo", uma teoria de todas as forças físicas que movem o universo. Einstein passou os últimos trinta anos da sua vida correndo atrás desta teoria, mas, no final, fracassou.

Atualmente, a principal (e única) teoria capaz de explicar a diversidade de forças que vemos impulsionando o universo é a teoria das cordas ou, na sua mais

recente encarnação, a teoria M. (M é “membrana”, mas pode também significar “mistérios”, “magia” e até “mãe”. Embora a teoria das cordas e a teoria M sejam essencialmente idênticas, a teoria M é uma estrutura mais misteriosa e sofisticada que unifica várias teorias de cordas.)

Desde o tempo dos gregos, os filósofos especulam que os blocos de construção essenciais da matéria poderiam ser feitos de partículas minúsculas chamadas átomos. Hoje, com nossos poderosos colisores de átomos e aceleradores de partículas, podemos cindir o próprio átomo em elétrons e núcleos, que, por vez, podem ser quebrados em partículas subatômicas ainda menores. Mas, em vez de encontrar uma estrutura simples e elegante, foi angustiante descobrir que havia centenas de partículas subatômicas fluindo de nossos aceleradores, com nomes estranhos como neutrinos, quarks, mésons, léptons, hádrons, gluons, bósons e outras coisas mais. É difícil acreditar que a natureza, no seu nível mais fundamental, pudesse criar um matagal confuso de bizarras partículas subatômicas.

A teoria das cordas e a teoria M baseiam-se na simples e elegante ideia de que a estonteante variedade de partículas subatômicas que compõem o universo sejam semelhantes às notas que se podem extrair de uma corda de violino, ou de uma membrana como o couro de um tambor. (Estas não são cordas e membranas comuns; elas existem num espaço com dez e onze dimensões.)

Tradicionalmente, os físicos viam os elétrons como partículas pontuais, que eram infinitesimalmente pequenas. Isto significava que os físicos tinham que introduzir uma partícula pontual diferente para cada uma das centenas de partículas subatômicas que encontrassem, o que era muito confuso. Mas, segundo a teoria das cordas, se tivéssemos um supermicroscópio capaz de espiar dentro do coração de um elétron, veríamos que não era uma partícula pontual, mas uma minúscula corda vibrando. Só parecia ser uma partícula pontual porque nossos instrumentos eram rústicos demais.

Esta corda minúscula, por sua vez, vibra em diferentes frequências e ressonâncias. Se dedilhássemos esta corda vibrando, ela mudaria de modo e se tornaria outra partícula subatômica, tal como um quark. Dedilhe-a de novo, e ela vira um neutrino. Desta maneira, é possível explicar a avalanche de partículas subatômicas como nada além de notas musicais diferentes da corda. Podemos agora substituir as centenas de partículas subatômicas vistas no laboratório por um único objeto, a corda.

ANALOGIA MUSICAL CONTRAPARTE DE CORDAS

Notação musical	Matemática
Cordas de violino	Supercordas
Notas	Partículas subatômicas
Leis da harmonia	Física
Melodias	Química
Universo	Sinfonia de cordas
“Mente de Deus”	Música ressoando pelo hiperespaço
Compositor	?

Neste novo vocabulário, as leis da física, cuidadosamente construídas em milhares de anos de experimentações, não passam de leis da harmonia que se podem redigir para cordas e membranas. As leis da química são as melodias que podem ser tocadas nestas cordas. O universo é uma sinfonia de cordas. E a “mente de Deus”, sobre a qual Einstein escreveu com tanta eloquência, é música cósmica ressoando pelo hiperespaço. (O que levanta outra questão: Se o universo é uma sinfonia de cordas, então existe um compositor? Tratarei desta questão no capítulo 12.)

O FIM DO UNIVERSO

O WMAP não só vislumbra com a maior precisão o universo primordial, como também mostra o mais detalhado quadro de como o nosso universo irá morrer. Assim como a misteriosa força de antigravidade empurrou as galáxias para longe umas das outras no início dos tempos, esta mesma força de antigravidade está hoje empurrando o universo para o seu destino final. Antes, os astrônomos pensavam que a expansão do universo estava gradualmente diminuindo. Agora, percebemos que o universo está, na verdade, acelerando, com as galáxias sendo lançadas para longe de nós a uma velocidade cada vez maior. A mesma energia escura que compõe 73 por cento da matéria e energia existentes no universo está acelerando a expansão do universo, afastando as galáxias cada vez mais rápido. “O universo está se comportando como um motorista que reduz a marcha ao se aproximar de um sinal vermelho e depois pisa no acelerador quando a luz fica verde”,[10] diz Adam Riess, do Space Telescope Institute.

A não ser que aconteça alguma coisa para inverter esta expansão, dentro de 150 bilhões de anos a Via Láctea ficará totalmente sozinha, com 99,99999 por

cento de todas as galáxias próximas atravessando rapidamente as bordas do universo visível. As galáxias que costumamos ver no céu à noite estarão se afastando tão rápido de nós que a sua luz jamais chegará a nós. As galáxias não vão desaparecer, mas estarão longe demais para que possam ser observadas pelos nossos telescópios. Embora o universo visível contenha aproximadamente 100 bilhões de galáxias, daqui a 150 bilhões de anos apenas alguns milhares de galáxias do superaglomerado local de galáxias será visível. Mais adiante ainda no tempo, apenas o nosso grupo local, consistindo em umas 36 galáxias, compreenderá todo o universo visível, com bilhões de galáxias sendo carregadas para fora da borda do horizonte. (Isto porque a gravidade dentro do grupo local é suficiente para vencer esta expansão. Ironicamente, à medida que as galáxias distantes desaparecem de vista, um astrônomo que viva nesta era escura talvez não perceba nenhuma expansão do universo, visto que o grupo local de galáxias não se expande internamente. No futuro distante, astrônomos que analisarem o céu noturno pela primeira vez talvez não percebam que existe uma expansão, concluindo, portanto, que o universo é estático e consiste apenas de 36 galáxias.)

Se esta força de antigravidade continuar, o universo vai acabar morrendo num grande congelamento. Toda a vida inteligente no universo acabará congelada numa morte agonizante, à medida que a temperatura do espaço cósmico cair para o zero absoluto, quando as moléculas mal podem sair do lugar. Em algum momento, daqui a trilhões e trilhões de anos, as estrelas deixarão de brilhar, com suas chamas nucleares extinguindo-se à medida que elas esgotam os seus combustíveis, escurecendo para sempre o céu noturno. A expansão cósmica deixará apenas um universo frio, morto, de pequenas anãs negras, estrelas de nêutrons e buracos negros. E, até mais adiante no futuro, os próprios buracos negros terão a sua energia evaporada, restando uma névoa fria e inerte de partículas elementares à deriva. Num universo tão árido e frio, qualquer definição de vida inteligente é fisicamente impossível. As leis rígidas da termodinâmica proíbem a transferência de qualquer informação em tal ambiente congelado, e toda a vida necessariamente cessará de existir.

A primeira percepção de que o universo pode acabar morrendo congelado aconteceu no século XVIII. Comentando a ideia deprimente de que as leis da física parecem condenar à morte toda a vida inteligente, Charles Darwin escreveu: “Acreditando como eu acredito que o homem no futuro distante será uma criatura muito mais perfeita do que é hoje, é intolerável pensar que ele e todos os outros seres conscientes estão condenados à total extinção depois de um progresso tão lento e persistente.”[11] Infelizmente, os dados mais atuais do satélite WMAP parecem confirmar o temor de Darwin.

FUGA PARA O HIPERESPAÇO

É uma lei da física que a vida inteligente no universo vai necessariamente enfrentar esta morte definitiva. Mas uma lei da evolução também diz que, mudando o ambiente, a vida deve sair dali, adaptar-se ou morrer. Como é impossível adaptar-se a um universo que está morrendo congelado, as únicas opções são morrer – ou se mudar do universo. Diante da morte definitiva do universo, é possível que civilizações trilhões de anos a nossa frente reúnam a tecnologia necessária para deixar o nosso universo num "barco salva-vidas" dimensional e sair flutuando em direção a outro, mais jovem e mais quente? Ou elas usarão a sua tecnologia avançada para construir uma "teia do tempo" e viajar de volta ao próprio passado, quando as temperaturas eram muito mais quentes?

Alguns físicos sugeriram vários quadros plausíveis, embora extremamente especulativos, usando a física mais avançada disponível para propor a visão mais realista de portais dimensionais ou passagens para outro universo. Os quadros-negros dos laboratórios de física no mundo inteiro se enchem de equações abstratas, à medida que os físicos calculam se é possível ou não usar a "energia exótica" e buracos negros para encontrar um corredor para outro universo. Uma civilização avançada, com uma tecnologia talvez milhões a bilhões de anos à nossa frente, poderá explorar as leis da física conhecidas para entrar em outro universo?

O cosmólogo Stephen Hawking, da Universidade de Cambridge, certa vez brincou: "Os buracos de minhoca, se existem, seriam ideais para uma viagem rápida pelo espaço. Você poderia ir até o outro lado da galáxia passando por um buraco de minhoca e voltar a tempo para o jantar."[12]

E se buracos de minhoca e portais dimensionais são pequenos demais para permitir o êxodo final do universo, então existe uma última opção: reduzir todo o conteúdo de informação de uma civilização inteligente avançada ao nível molecular e injetá-lo através do portal, onde depois ele voltaria a se montar do outro lado. Assim, toda uma civilização pode injetar a sua semente por uma passagem dimensional e se restabelecer em toda a sua glória. O hiperespaço, em vez de ser um brinquedo para físicos teóricos, poderia se tornar a salvação definitiva para a vida inteligente num universo moribundo.

Mas, para compreender bem as implicações deste acontecimento, precisamos primeiro entender como cosmólogos e físicos, a duras penas, conseguiram chegar a estas surpreendentes conclusões. No decorrer de *Mundos paralelos*, vamos rever a história da cosmologia, ressaltando os paradoxos que infestaram o campo durante séculos, culminando na teoria da inflação que, embora coerente

com todos os dados experimentais, obriga-nos a considerar o conceito de universos múltiplos.

CAPÍTULO DOIS

O Universo Paradoxal

Estivesse eu presente no momento da criação, teria dado algumas sugestões úteis para uma organização melhor do universo.
– Afonso, o Sábio

Dane-se o sistema solar. Má iluminação; planetas distantes demais; infestado de cometas; invenção medíocre; eu teria feito [um universo] melhor.
– Lord Jeffrey

Na peça *Como gostais*, Shakespeare escreveu as imortais palavras:

O mundo todo é um palco,
E todos os homens e mulheres meros atores.
Eles têm suas saídas e suas entradas.

Na Idade Média, o mundo era mesmo um palco, mas era um palco pequeno, estático, consistindo em uma Terra pequenina, achatada, em torno da qual os corpos celestes moviam-se misteriosamente nas suas órbitas celestes perfeitas. Os cometas eram vistos como presságios que anunciavam a morte de reis. Quando o grande cometa de 1066 cruzou os céus da Inglaterra, aterrorizou os soldados saxões do rei Haroldo, que rapidamente perderam a guerra para as tropas vitoriosas de Guilherme, o Conquistador, que avançavam, montando o cenário para a formação da Inglaterra moderna.

O mesmo cometa passou sobre a Inglaterra mais uma vez em 1682, de novo infundindo assombro e temor por toda a Europa. Todos, é o que parecia, de camponeses a reis, ficaram hipnotizados com este inesperado visitante celeste que deslizava pelos céus. De onde vinha o cometa? Para onde estava indo e o que ele significava?

Um senhor rico, Edmund Halley, astrônomo amador, ficou tão intrigado com o cometa que foi pedir a opinião de um dos maiores cientistas da época, Isaac Newton. Quando perguntou a Newton que força poderia controlar o movimento do cometa, Newton calmamente respondeu que o cometa movia-se numa elipse em consequência da lei da força do inverso do quadrado (isso é, a força sobre o cometa diminuía com o quadrado da sua distância do Sol). De fato, disse Newton, ele vinha acompanhando a trajetória do cometa com um telescópio que

inventara (o telescópio de reflexão usado hoje por astrônomos no mundo inteiro), e ela estava de acordo com a lei da gravitação que ele havia desenvolvido vinte anos antes.

Halley ficou chocado, sem acreditar. “Como o senhor sabe?”,[1] perguntou. “Ora, porque eu a calculei”, respondeu Newton. Nunca, nos seus sonhos mais loucos, Halley teria esperado ouvir que o segredo dos corpos celestes, que deixou a humanidade perplexa desde que o primeiro ser humano olhou para o céu, poderia ser explicado por uma nova lei da gravitação.

Atordoado com a importância da monumental descoberta, Halley se ofereceu generosamente para pagar a publicação desta nova teoria. Em 1687, com o incentivo e patrocínio de Halley, Newton publicou o seu trabalho épico *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*), que foi saudado como uma das obras mais importantes jamais publicadas. Num só golpe, cientistas que ignoravam as leis mais gerais do sistema solar de repente eram capazes de prever, com minuciosa precisão, o movimento de corpos celestes.

Tão grande foi o impacto do *Principia* nos salões e cortes da Europa que o poeta Alexander Pope escreveu:

> *Natureza e leis da natureza jazem ocultas na noite,*
> *Disse Deus,* Faça-se Newton! *E tudo se iluminou.*

(Halley percebeu que, se a órbita do cometa estava numa elipse, era possível calcular quando ele estaria sobre Londres de novo. Pesquisando antigos registros, ele descobriu que os cometas de 1531, 1607 e 1682 eram, na verdade, o mesmo. O cometa que foi tão essencial para a criação da Inglaterra moderna em 1066 foi visto por pessoas durante toda a história registrada, inclusive por Júlio César. Halley previu que o cometa retornaria em 1758, muito depois de Halley e Newton terem morrido. Quando o cometa realmente voltou no dia de Natal naquele ano, conforme programado, foi batizado como cometa de Halley.)

Newton havia descoberto a lei universal da gravidade vinte anos antes, quando a peste negra fechou a Universidade de Cambridge e ele foi obrigado a se retirar para a sua casa no campo, em Woolsthorpe. Ele lembrava com carinho que, passeando pela sua propriedade, viu uma maçã cair da árvore. E então ele se fez a pergunta que mudaria o curso da história da humanidade: se uma maçã cai, a Lua também cai? Num golpe brilhante de genialidade, Newton percebeu que maçãs, a Lua e os planetas obedeciam todos à mesma lei da gravitação, que estavam todos sob a lei do inverso do quadrado. Ao descobrir que a matemática do século XVII era primitiva demais para solucionar esta lei da força, ele inventou um novo ramo da matemática, o cálculo, para determinar o movimento

de maçãs e luas caindo.

Em *Principia*, Newton também havia escrito as leis da mecânica, as leis do movimento que determinam as trajetórias de todos os corpos terrestres e celestes. Estas leis estabeleceram a base para o projeto de máquinas, utilizando a energia do vapor e criando locomotivas, o que, por sua vez, ajudou a preparar o caminho para a Revolução Industrial e a civilização moderna. Hoje, todos os arranha-céus, todas as pontes e todos os foguetes são construídos usando as leis do movimento de Newton.

Newton não nos deu só as leis eternas do movimento; ele também revolucionou a nossa visão de mundo, dando-nos um quadro radicalmente novo do universo onde as leis misteriosas que regem os corpos celestes eram idênticas às leis que governam a Terra. O palco da vida não estava mais rodeado de presságios celestiais aterrorizantes; as mesmas leis que se aplicavam aos atores serviam para o cenário.

O PARADOXO DE BENTLEY

Por ser um trabalho tão ambicioso, o *Principia* suscitou os primeiros paradoxos perturbadores sobre a construção do universo. Se o mundo era um palco, então de que tamanho ele é? É infinito ou finito? Esta é uma pergunta antiquíssima; até o filósofo romano Lucrécio ficou fascinado com ela. “O Universo não está indo obrigatoriamente em nenhuma direção”, escreveu ele. “Se estivesse, teria de haver um limite em algum lugar. Mas é claro que uma coisa não pode ter um limite a não ser que exista algo externo para limitá-la... Em todas as dimensões igualmente, deste lado ou daquele, em cima ou embaixo, por todo o universo, não há fim.”[2]

Mas a teoria de Newton também revelou os paradoxos inerentes em qualquer teoria de um universo finito ou infinito. As perguntas mais simples conduzem a um atoleiro de contradições. Mesmo enquanto se aquecia ao sol da fama que a publicação do *Principia* lhe proporcionou, Newton descobriu que sua teoria da gravitação estava necessariamente crivada de paradoxos. Em 1692, um clérigo, o reverendo Richard Bentley, escreveu a Newton uma carta, de uma simplicidade desconcertante, mas angustiada. Se a gravidade era sempre atrativa e jamais repulsiva, escreveu Bentley, isto significava que qualquer conjunto de estrelas colapsariam naturalmente nelas mesmas. Se o universo era finito, então o céu noturno, em vez de ser eterno e estático, deveria ser um cenário de incrível massacre, à medida que as estrelas chocassem-se umas com as outras fundindo-

se numa flamejante superestrela. Mas Bentley também observou que, se o universo fosse infinito, então a força sobre qualquer objeto, puxando-o para a esquerda ou para a direita, também seria infinita, e, portanto, as estrelas se estraçalhariam em cataclismas flamejantes.

No início, parecia que Bentley havia dado um xeque-mate em Newton. Ou o universo era finito (e desmoronaria numa bola de fogo) ou era infinito (nesse caso, todas as estrelas seriam sopradas para longe umas das outras.) Uma ou outra possibilidade seria um desastre para a jovem teoria que Newton propunha. Este problema, pela primeira vez na história, revelava os sutis, mas inerentes paradoxos de que está crivada qualquer teoria da gravitação quando aplicada a todo o universo.

Depois de muito pensar, Newton respondeu que tinha encontrado uma brecha no argumento. Ele preferia um universo infinito, mas que fosse totalmente uniforme. Assim, se uma estrela é puxada para a direita por um número infinito de estrelas, esta força é anulada exatamente por uma força igual de outra sequência infinita de estrelas na outra direção. Todas as forças ficam equilibradas em cada direção, criando um universo estático. Assim, se a gravidade sempre atrai, a única solução para o paradoxo de Bentley é ter um universo infinito e uniforme.

Newton havia mesmo encontrado uma brecha no argumento de Bentley. Mas Newton foi esperto o bastante para perceber a fragilidade da sua própria resposta. Ele reconheceu, numa carta, que a sua solução, embora correta do ponto de vista técnico, era inerentemente instável. O universo uniforme mas infinito de Newton era como um castelo de cartas: estável na aparência, mas sujeito a cair ao mais leve distúrbio. Podia-se calcular que, mesmo que uma única estrela fosse sacudida um pouquinho só, ela incitava uma reação em cadeia, e aglomerados de estrelas começariam imediatamente a entrar em colapso. “É necessário um milagre contínuo para impedir o Sol e as estrelas fixas de se precipitarem juntas sob a gravitação”,[3] escreveu ele.

Para Newton, o universo era como um relógio gigante ao qual Deus deu corda no início dos tempos e que vem funcionando desde então, de acordo com as suas três leis do movimento, sem interferência divina. Mas, às vezes, até Deus precisa intervir e dar uma ajeitadinha no universo para que ele não entre em colapso. (Em outras palavras, ocasionalmente Deus tem de intervir para que os cenários no palco da vida não despenquem sobre os atores.)

O PARADOXO DE OLBERS

Além do paradoxo de Bentley, havia outro ainda mais profundo, inerente a qualquer universo infinito. O paradoxo de Olber começa perguntando por que o céu noturno é preto. Astrônomos desde os tempos de Johannes Kepler, perceberam que, se o universo fosse uniforme e infinito, então para onde quer que você olhasse veria a luz de um número infinito de estrelas. Olhando para qualquer ponto do céu noturno, a nossa linha de visão no final terá cruzado com um número incontável de estrelas e, portanto, terá recebido uma quantidade infinita de luz estelar. Por conseguinte, o céu noturno deveria estar em fogo! O fato de o céu noturno ser preto, e não branco, tem sido um sutil, mas profundo paradoxo cósmico há séculos.

O paradoxo de Olbers, como o paradoxo de Bentley, é ilusoriamente simples, mas tem confundido muitas gerações de filósofos e astrônomos. Tanto o paradoxo de Bentley quanto o de Olbers dependem da observação de que, num universo infinito, forças gravitacionais e feixes de luz podem se somar para dar resultados infinitos e inexpressivos. Durante séculos, muitas respostas incorretas foram propostas. Kepler ficou tão perturbado com este paradoxo que simplesmente postulou que o universo era finito, encerrado dentro de uma concha e, portanto, apenas uma quantidade finita de luz estelar podia chegar aos nossos olhos.

A confusão a respeito deste paradoxo é tão grande que um estudo feito em 1987 mostrou que 70 por cento dos livros didáticos de astronomia davam a resposta errada.

A princípio, seria possível tentar solucionar o paradoxo de Olbers afirmando que a luz estelar é absorvida por nuvens de poeira. Esta foi a resposta do próprio Heinrich Olbers, em 1823, quando formulou claramente pela primeira vez o paradoxo. Olbers escreveu: “Que sorte a Terra não receber luz estelar de todos os pontos da abóbada celeste! No entanto, com esse brilho e calor imagináveis, 90 mil vezes maior do que hoje experimentamos, teria sido fácil para o Todo-poderoso criar organismos capazes de se adaptarem a condições tão extremas.”[4] Para que a Terra não ficasse banhada “contra com um fundo tão brilhante quanto o disco solar”, Olbers sugeriu que nuvens de poeira deveriam absorver o calor intenso, possibilitando a vida na Terra. Por exemplo, o centro flamejante da nossa própria galáxia, a Via Lactea, que de fato deveria dominar o céu noturno, está, na verdade, oculto por trás de nuvens de poeira. Olhando na direção da constelação de Sagitário, onde se localiza o centro da Via Láctea, vemos não uma bola de fogo resplandecente, mas um retalho de escuridão.

Mas nuvens de poeira não podem, de fato, explicar o paradoxo de Olbers. Durante um período infinito de tempo, as nuvens de poeira absorverão a luz solar de um número infinito de estrelas e, no final, brilharão como a superfície

de uma estrela. Portanto, até as nuvens de poeira deveriam estar resplandecendo no céu noturno.

Do mesmo modo, seria possível supor que, quanto mais distante uma estrela estiver, mais fraca é a sua luz. Isto é verdade, mas também não serve como resposta. Se olharmos para uma parte do céu noturno, as estrelas muito distante são mesmo fracas, mas também há mais estrelas quanto mais longe você olhar. Estes dois efeitos se anulariam exatamente num universo uniforme, deixando o céu noturno branco. (Isto porque a intensidade da luz estelar diminui com o quadrado da distância, que é anulado porque o número de estrelas aumenta com o quadrado da distância.)

Curiosamente, a primeira pessoa na história a solucionar o paradoxo foi o escritor americano de livros de mistério Edgard Allan Poe, que sempre se interessou por astronomia. Pouco antes de morrer, ele publicou muitas das suas observações num poema filosófico e divagador chamado *Eureka: um poema em prosa*. Num trecho notável, ele escreveu:

> Fosse a sucessão de estrelas infindável, então o pano de fundo do céu nos apresentaria uma luminosidade uniforme, como aquela exibida pela Galáxia – *visto não poder existir absolutamente nenhum ponto, em todo esse pano de fundo, onde não houvesse uma estrela*. O único modo, portanto, pelo qual, nesse estado de coisas, poderíamos compreender os *vazios* que nossos telescópios encontram em inúmeras direções seria supondo que a distância do pano de fundo invisível [é] tão imensa que nenhum raio vindo de lá foi capaz de nos alcançar.[5]

Ele concluiu observando que a ideia “é por demais bela para *não* possuir a Verdade como sua essência”.

Esta é a chave para a resposta certa. O universo não é infinitamente velho. Houve uma Gênese. Há uma interrupção finita na luz que chega aos nossos olhos. A luz das estrelas mais distantes ainda não teve tempo para chegar até nós. O cosmólogo Edward Harrison, o primeiro a descobrir que Poe havia solucionado o paradoxo de Olbers, escreveu: “Quando li as palavras de Poe, fiquei pasmo: como um poeta, um cientista amador na melhor das hipóteses, percebeu a explicação certa 140 anos atrás quando, nas nossas universidades, a explicação errada... ainda continua sendo ensinada?”[6]

Em 1901, o físico escocês Lord Kelvin também descobriu a resposta correta. Ele percebeu que se você olhar o céu noturno, estará olhando como ele era no passado, não como é agora, porque a velocidade da luz, embora enorme pelos padrões terrestres (300 mil quilômetros por segundo), ainda é finita, e demora para a luz que vem de estrelas distantes chegar à Terra. Kelvin calculou que, para o céu noturno ser branco, o universo teria de se estender centenas de trilhões de anos-luz. Mas, como o universo não tem trilhões de anos de idade, o céu é necessariamente escuro. (Existe também mais uma segunda razão para o céu

noturno ser preto, e esta é o tempo de vida finito das estrelas, medido em bilhões de anos.)

Agora já é possível verificar experimentalmente a correção da solução de Poe, usando satélites como o telescópio espacial Hubble. Estes poderosos telescópios, por sua vez, nos permitem responder a uma pergunta que até as crianças fazem: onde fica a estrela mais distante? O que tem depois da estrela mais distante? Para responder a estas perguntas, os astrônomos programaram o telescópio espacial Hubble para realizar uma tarefa histórica: fotografar o ponto mais distante do universo. Para capturar emissões extremamente fracas dos cantos mais profundos do espaço, o telescópio teve de executar uma tarefa sem precedentes: mirar exatamente o mesmo ponto do céu próximo da constelação de Orion por várias centenas de horas, o que exigia que o telescópio estivesse perfeitamente alinhado durante quatrocentas órbitas ao redor da Terra. O projeto foi tão difícil que teve de ser executado por mais de quatro meses.

Em 2004, foi divulgada uma estonteante fotografia que ganhou as manchetes de primeira página dos jornais do mundo inteiro. Ela mostrava um conjunto de 10 mil galáxias bebês no momento em que se condensavam do caos do próprio Big Bang. “Podemos ter visto o fim do começo”,[7] declarou Anton Koekemoer do Space Telescope Science Institute. A fotografia mostrava uma confusão de galáxias pálidas a mais de 13 bilhões de anos-luz da Terra – isto é, levou mais de 13 bilhões de anos para a sua luz chegar à Terra. Visto que o universo tem apenas 13,7 bilhões de anos, isto significa que estas galáxias se formaram aproximadamente meio bilhão de anos depois da criação, quando as primeiras estrelas e galáxias estavam se condensando da “sopa” de gases que restaram do Big Bang. “O Hubble nos leva bem perto do próprio Big Bang”,[8] disse o astrônomo Massimo Stivavelli, do Instituto.

Mas isto levanta a questão: o que existe depois das galáxias mais distantes? Examinando esta extraordinária fotografia, o que fica bem aparente é que só existe escuridão entre estas galáxias. Esta escuridão é o que faz o céu noturno ser preto. É o corte definitivo da luz que vem das estrelas distantes. Entretanto, esta escuridão, por sua vez, é, na realidade, a radiação de fundo de microondas. Portanto, a resposta final para a pergunta “Por que o céu de noite é preto?” é que o céu noturno não é realmente preto. (Se nossos olhos pudessem de algum modo ver a radiação de microondas, e não apenas a luz visível, veríamos a radiação do próprio Big Bang inundando o céu noturno. Em certo sentido, a radiação do Big Bang aparece todas as noites. Se tivéssemos olhos para ver as microondas, veríamos que depois das estrelas mais distantes está a própria criação.)

EINSTEIN, O REBELDE

As leis de Newton tiveram tanto sucesso que demorou mais de duzentos anos para a ciência dar o próximo passo decisivo, com a obra de Albert Einstein. Einstein começou a sua carreira como um candidato muito pouco provável para uma tamanha revolução. Depois de se formar bacharel no Instituto Politécnico, em Zurique, na Suíça, em 1900, ele se viu sem nenhuma esperança de conseguir um emprego. Sua carreira foi sabotada pelos professores, que não gostavam daquele aluno convencido e petulante que muitas vezes matava as aulas. Suas cartas suplicantes e deprimentes mostram a que ponto ele desceu. Ele se considerava um fracasso e uma penosa carga financeira para os seus pais. Numa carta comovente, ele confessou que até pensava em acabar com a própria vida: "O infortúnio de meus pais, que há tantos anos não têm um momento de felicidade, pesa-me imensamente... Não passo de um peso para a minha família... Certamente, seria melhor se eu não vivesse", ele escreveu, desanimado.[9]

Desesperado, ele pensou em mudar de carreira e trabalhar em uma companhia de seguros. Empregou-se como professor particular de crianças, mas discutiu com o patrão e foi despedido. Quando a namorada, Mileva Maric, inesperadamente engravidou, ele percebeu com tristeza que o filho nasceria ilegítimo porque ele não tinha recursos para se casar com ela. (Ninguém sabe o que acabou acontecendo com a sua filha ilegítima, Lieseral.) E o profundo choque pessoal com a morte repentina do pai deixou uma cicatriz emocional da qual ele jamais se recuperou totalmente. O pai morreu pensando que o filho era um fracasso.

Embora o período entre 1901 e 1902 tenha sido a pior fase da vida de Einstein, o que salvou sua carreira do esquecimento foi a recomendação de um colega de turma, Marcel Grossman, que deu um jeito de mexer os pauzinhos e lhe garantir um emprego como modesto funcionário do Escritório de Patentes da Suíça, em Berna.

PARADOXOS DA RELATIVIDADE

Superficialmente, o Escritório de Patentes era um lugar improvável para se lançar a maior revolução da física desde Newton. Mas teve as suas vantagens. Depois de rapidamente dar um destino à pilha de pedidos de patente sobre a sua mesa, Einstein recostava-se na cadeira e voltava a um sonho de infância. Na sua juventude, Einstein tinha lido um livro, *People's Book on Natural Science*, de

Aaron Bernstein, “uma obra que eu lia atento, com a respiração suspensa”, ele lembrava. Bernstein convidava o leitor a se imaginar correndo ao lado da eletricidade enquanto ela disparava por um fio telegráfico. Aos dezesseis anos, Einstein se fez uma pergunta semelhante: como seria um feixe de luz se você pudesse emparelhar com ele? Einstein lembrou: “Esse princípio resultou de um paradoxo com o qual eu já havia me deparado aos dezesseis anos: se eu persigo um feixe de luz com a velocidade *c* (velocidade da luz no vácuo), devo observar esse feixe de luz como um campo eletromagnético espacialmente oscilatório em repouso. Entretanto, parece não haver tal coisa, seja com base na experiência ou segundo as equações de Maxwell.”[10] Quando criança, Einstein pensava que se você pudesse correr ao lado de um feixe de luz, ele pareceria congelado, como uma onda imóvel. Mas ninguém jamais viu luz congelada, portanto alguma coisa estava muito errada.

Na virada do século, havia dois grandes pilares da física sobre os quais tudo se baseava: a teoria da mecânica e da gravitação de Newton, e a teoria da luz de Maxwell. Na década de 1860, o físico escocês James Clerk Maxwell havia demonstrado que a luz consiste de campos elétrico e magnéticos vibrantes, constantemente convertendo-se um no outro. O que Einstein descobriu, muito chocado, era que estes dois pilares se contradiziam e que um deles tinha de cair.

Nas equações de Maxwell, ele encontrou a solução para o quebra-cabeça que o perseguia há dez anos. Einstein descobriu uma coisa que o próprio Maxwell não viu: as equações de Maxwell mostravam que a luz viajava a uma velocidade constante, não importava a rapidez com que você tentasse alcançá-la. A velocidade da luz *c* era a mesma em todas as referências inerciais (isto é, referências viajando a uma velocidade constante). Estivesse você parado de pé, viajando de trem, ou sentado num cometa em excesso de velocidade, você veria um feixe de luz correndo na sua frente na mesma velocidade. Não importa a velocidade em que você estivesse, jamais conseguiria ultrapassar a luz.

Isto levou imediatamente a uma miríade de paradoxos. Imagine, por um momento, um astronauta tentando alcançar a velocidade de um feixe de luz. O astronauta dispara no seu foguete até estar correndo emparelhado com o feixe de luz. Um espectador na Terra assistindo a esta caçada hipotética diria que o astronauta e o feixe de luz estavam se movendo um ao lado do outro. Entretanto, o astronauta diria algo completamente diferente, que o feixe de luz afastava-se dele, como se o seu foguete estivesse parado.

A pergunta que desafiava Einstein era: como duas pessoas podem ter interpretações tão diferentes do mesmo acontecimento? Na teoria de Newton, podia-se sempre alcançar um feixe de luz; no mundo de Einstein, isto era impossível. Havia, ele percebeu de repente, uma falha fundamental nos

fundamentos da física. Na primavera de 1905, Einstein lembrou:“A minha mente entrou em turbulência.” Num golpe, ele finalmente encontrou a solução: *o tempo pulsa em ritmos diferentes, dependendo da velocidade com que você se move*. De fato, quanto mais rápido você se move, mais lentamente o tempo progride. O tempo não é um valor absoluto, como Newton pensava. Segundo Newton, o tempo pulsava de maneira uniforme em todo o universo, de modo que um segundo na Terra era idêntico a um segundo em Júpiter ou Marte. Os relógios batem em absoluta sincronia em todo o universo. Para Einstein, entretanto, relógios diferentes batem em ritmos diferentes por todo o universo.

Se o tempo pudesse mudar dependendo da sua velocidade, Einstein percebeu então que outras quantidades, como o comprimento, matéria e energia, deveriam também mudar.[11] Ele descobriu que quanto mais rápido você se movia, mais as distâncias se contraíam (o que às vezes é chamado de contração de Lorentz-FitzGerald). Similarmente, quanto mais rápido você se move, mais pesado fica. (De fato, conforme você se aproximasse da velocidade da luz, o tempo iria ficando mais lento até parar, as distâncias se contrairiam até o nada e a sua massa se tornaria infinita, o que é completamente absurdo. É por isso que você não pode romper a barreira da luz, que é basicamente o limite de velocidade no universo.)

Esta estranha distorção do espaço-tempo levou um poeta a escrever:

Era uma vez um jovem chamado Fisk
Que na esgrima era muito esperto.
Tão rápida era a sua ação,
A contração de FitzGerald
Reduzia o seu espadim a um disco.

Do mesmo modo que a descoberta de Newton unificou a física terrestre com a física celeste, Einstein unificou espaço e tempo. Mas ele também mostrou que matéria e energia estão unificadas e, portanto, podem se transformar uma na outra. Se um objeto se torna mais pesado quanto mais rápido ele se move, então isto significa que a energia de movimento está sendo transformada em matéria. O inverso também é verdadeiro – matéria pode ser convertida em energia. Einstein computou quanta energia seria convertida em matéria e encontrou a fórmula $E = mc^2$, isto é, mesmo uma quantidade mínima de matéria m é multiplicada por um número enorme (o quadrado da velocidade da luz) quando se transforma em energia E. Portanto, a fonte de energia secreta das estrelas revelou-se com a conversão de matéria em energia por meio desta equação, que ilumina o universo. O segredo das estrelas poderia ser derivado da simples declaração de que a velocidade da luz é a mesma em todas os referenciais

inerciais.

Como Newton antes dele, Einstein mudou a nossa visão do palco da vida. No mundo de Newton, todos os atores sabiam exatamente que horas eram e como as distâncias eram medidas. A marcação do tempo e as dimensões do palco nunca mudavam. Mas a relatividade nos deu um modo estranho de compreender espaço e tempo. No universo de Einstein, todos os atores possuem relógios de pulso que marcam horas diferentes. Isto quer dizer que é impossível sincronizar todos os relógios do palco. Marcar a hora do ensaio para o meio-dia significa coisas diferentes para atores diferentes. De fato, estranhas coisas acontecem quando os atores atravessam o palco correndo. Quanto mais rápido eles se movem, mais lentamente os seus relógios batem e mais pesados e planos seus corpos ficam.

Levaria anos para a descoberta de Einstein ser reconhecida pela comunidade científica em geral. Mas Einstein não sossegou; ele queria aplicar a sua nova teoria da relatividade à própria gravitação. Ele percebeu que ia ser muito difícil; ia se meter com a teoria de maior sucesso da sua época. Max Planck, fundador da teoria quântica, alertou: “Como um velho amigo, devo aconselhá-lo a não fazer isso, pois, em primeiro lugar, você não vai conseguir, e, mesmo que consiga, ninguém vai acreditar em você.”[12]

Einstein percebeu que sua nova teoria da relatividade ia contra a teoria newtoniana da gravidade. Segundo Newton, a gravitação viajava instantaneamente por todo o universo. Mas isto fez surgir uma pergunta que até as crianças fazem: “O que acontece se o Sol desaparecer?” Para Newton, o universo inteiro assistiria ao desaparecimento do Sol instantaneamente, ao mesmo tempo. Mas, segundo a relatividade especial, isto é impossível, visto que o desaparecimento de uma estrela estava limitado pela velocidade da luz. Segundo a relatividade, o súbito desaparecimento do Sol dispararia uma onda de choque esférica de gravidade que se espalha para fora à velocidade da luz. Fora da onda de choque, os observadores diriam que o Sol continuava brilhando, visto que a gravitação não teve tempo de alcançá-los. Mas, dentro da onda, um observador diria que o Sol desapareceu. Para solucionar esse problema, Einstein introduziu um quadro totalmente diferente de espaço e tempo.

A FORÇA COMO A CURVATURA DO ESPAÇO

Newton admitia espaço e tempo como uma vasta arena vazia onde coisas poderiam acontecer, segundo as suas leis do movimento. O palco estava repleto de maravilhas e mistérios, mas era essencialmente inerte e imóvel, uma

testemunha passiva do balé da natureza. Einstein, entretanto, virou esta ideia de cabeça para baixo. Para Einstein, o próprio palco se tornaria uma parte importante da vida. No universo de Einstein, espaço e tempo não eram uma arena estática como supôs Newton, mas eram dinâmicos, dando voltas e curvas de modos estranhos. Imagine o palco da vida substituído por uma rede de trampolim, de modo que os atores mergulhem gentilmente sob o próprio peso. Numa arena assim, vemos que o palco se torna tão importante quanto os próprios atores.

Pense numa bola de boliche colocada sobre uma cama, delicadamente afundando no colchão. Agora faça correr uma bola de gude sobre a superfície arqueada do colchão. Um newtoniano, vendo de longe a bola de gude circulando em torno da bola de boliche, poderá concluir que houve uma força misteriosa exercida pela bola de boliche sobre a bola de gude. Um newtoniano diria que a bola de boliche exerceu uma atração instantânea que puxou a bola de gude para o centro.

Para um relativista, que pode observar o movimento da bola de gude sobre a cama de perto, é óbvio que não existe força alguma. Existe apenas a curvatura da cama, que força a bola de boliche a se mover numa linha curva. Para o relativista, não existe atração, existe apenas um empurrão, exercido pela cama curvada sobre a bola de gude. Substitua a bola de gude pela Terra, a bola de boliche pelo Sol e a cama por espaço-tempo vazio, e veremos que a Terra se move em torno do Sol não por causa da atração da gravidade, mas porque o Sol deforma o espaço em torno da Terra, criando uma força que empurra a Terra para se mover num círculo.

Einstein foi, por conseguinte, levado a acreditar que a gravidade era mais como um tecido do que uma força invisível que atuava instantaneamente em todo o universo. Se alguém sacudir rapidamente este tecido, formam-se ondas que viajam ao longo da superfície numa velocidade definida. Isto resolve o paradoxo do Sol que desaparece. Se a gravidade é um subproduto do arqueamento do tecido do espaço-tempo, então o desaparecimento do Sol pode ser comparado a levantar de repente a bola de boliche da cama. Conforme a cama ricocheteia de volta para sua forma original, ondas são enviadas pelo lençol a uma velocidade definida. Portanto, reduzindo a gravidade a um arqueamento do espaço e tempo, Einstein foi capaz de conciliar gravitação e relatividade.

Imagine uma formiga tentando atravessar uma folha de papel amassado. Ela vai caminhar como um marinheiro bêbado, cambaleando para a esquerda e para a direita, enquanto tenta atravessar o terreno enrugado. A formiga vai dizer que não está bêbada, mas que está sendo arrastada por uma força misteriosa, que a

puxa para a esquerda e para a direita. Para a formiga, o espaço vazio está cheio de forças misteriosas que a impedem de andar em linha reta. Olhando a formiga de perto, entretanto, vemos que não há nenhuma força puxando-a. Ela está sendo empurrada pelas dobras do papel amassado. As forças que agem sobre a formiga são uma ilusão causada pelo arqueamento do próprio espaço. A “atração” da força é, na verdade, o “empurrão” criado quando ela caminha sobre uma dobra do papel. Em outras palavras, a gravidade não puxa; o espaço empurra.

Em 1915, Einstein finalmente conseguiu completar o que chamou de teoria da relatividade geral, que desde então é a arquitetura sobre a qual está baseada toda a cosmologia. Neste novo e surpreendente quadro, a gravitação não era uma força independente que enchia o universo, mas o efeito aparente da curvatura do tecido do espaço-tempo. A sua teoria era tão eficiente que ele pôde resumi-la numa equação com dois centímetros e meio de comprimento. Nesta nova teoria brilhante, a quantidade de curvatura do espaço e tempo era determinada pela quantidade de matéria e energia que ele continha. Imagine lançar uma pedra num lago, criando uma série de ondinhas que emanam do impacto. Quanto maior a pedra, maior a deformação da superfície do lago. Da mesma maneira, quanto maior a estrela, maior a curvatura do espaço-tempo em torno dela.

O NASCIMENTO DA COSMOLOGIA

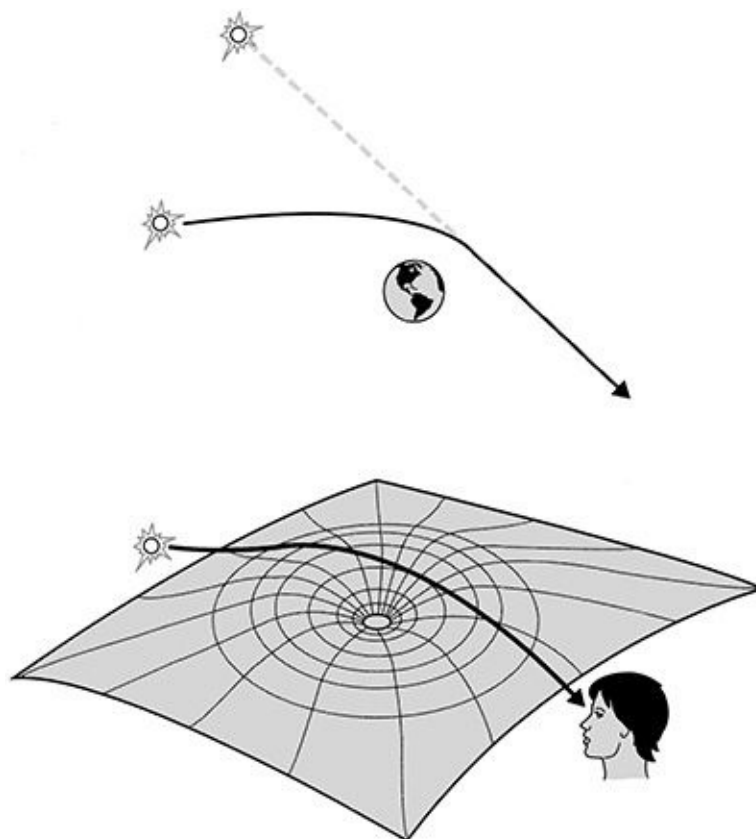
Einstein tentou usar esta imagem para descrever todo o universo. Mas não estava sabendo que teria de enfrentar o paradoxo de Bentley, formulado séculos antes. Na década de 1920, a maioria dos astrônomos acreditava que o universo era uniforme e estático. Então Einstein começou supondo que o universo era uniformemente cheio de poeira e estrelas. Em um modelo, o universo podia ser comparado com um grande balão ou bolha. Nós vivemos na película fina que reveste a bolha. As estrelas e galáxias que vemos a nossa volta podem ser comparadas com pontinhos pintados na superfície do balão.

Para a sua surpresa, sempre que ele tentava resolver as equações, descobria que o universo se tornava dinâmico. Einstein enfrentava o mesmo problema identificado por Bentley havia mais de dois séculos. Visto que a gravidade atrai sempre, jamais repele, um conjunto finito de estrelas entraria em colapso num cataclisma flamejante. Isto, entretanto, contradizia o pensamento dominante no início do século XX, que afirmava que o universo era estático e uniforme.

Apesar de revolucionário, Einstein não podia acreditar que o universo pudesse estar em movimento. Como Newton e legiões de outros, ele acreditava num

universo estático. Assim, em 1917, Einstein foi obrigado a introduzir um novo termo em suas equações, um “remendo” que produziu uma nova força na sua teoria, uma força antigravidade que empurrava as estrelas para longe umas das outras. Einstein a chamou de “constante cosmológica”, um patinho feio que parecia como uma reflexão tardia da teoria de Einstein. Ele então escolheu de forma arbitrária esta antigravidade para anular exatamente a atração da gravitação, criando um universo estático. Em outras palavras, o universo se tornou estático por decreto: a contração para dentro do universo devido à gravitação foi anulada pela força para fora da matéria escura. (Durante setenta anos, esta força de antigravidade foi considerada mais ou menos um órfão, até as descobertas feitas nos últimos anos.)

Em 1917, o físico holandês Willem de Sitter apresentou outra solução para a teoria de Einstein, na qual o universo era infinito, mas totalmente privado de matéria; de fato, ela consistia apenas em energia contida no vácuo, a constante cosmológica. Esta força de antigravidade pura era suficiente para acionar uma expansão rápida e exponencial do universo. Mesmo sem matéria, esta energia escura podia criar um universo em expansão.

Os físicos agora estavam diante de um dilema. O universo de Einstein tinha matéria, mas não movimento. O universo de W. de Sitter tinha movimento, mas não tinha matéria. No universo de Einstein, a constante cosmológica era necessária para neutralizar a atração da gravidade e criar um universo estático. No universo de W. de Sitter, a constante cosmológica apenas era suficiente para criar um universo em expansão.

Em 1919, dois grupos confirmaram a previsão de Einstein de que a luz de uma estrela distante se curvaria ao passar pelo Sol. Por conseguinte, a posição da estrela pareceria sair da sua posição normal na presença do Sol. Isto por que o Sol havia deformado o espaço-tempo a sua volta. Portanto, a gravidade não "puxa", mas o espaço "empurra".

Finalmente, em 1919, quando a Europa estava tentando se livrar do amontoado de entulho e cadáveres da Primeira Guerra Mundial, equipes de astrônomos foram enviadas pelo mundo todo para testar a nova teoria de Einstein. Einstein já havia proposto que a curvatura do espaço-tempo pelo Sol seria suficiente para arquear a luz estelar que passa na sua vizinhança. A luz estelar se curvaria em torno do Sol de uma forma precisa e calculável, como o vidro curva a luz. Mas como o brilho da luz do Sol mascara qualquer estrela durante o dia, os cientistas teriam de esperar um eclipse solar para fazer a experiência decisiva.

Um grupo liderado pelo astrofísico britânico Arthur Eddington pegou um barco e foi para a ilha de Príncipe, no Golfo da Guiné, na costa da África Ocidental, para registrar a curvatura da luz estelar em torno do Sol durante o próximo eclipse solar. Outra equipe, liderada por Andrew Crommelin, pegou um barco para Sobral, no nordeste do Brasil. Os dados que eles colheram indicavam um desvio médio de luz solar de 1,79 segundo de arco, o que confirmava a previsão de Einstein de 1,74 segundo de arco (dentro da margem de erro

experimental). Em outras palavras, a luz se arqueava perto do Sol. Eddington, mais tarde, afirmou que verificar a teoria de Einstein foi o momento mais importante da sua vida.

No dia 6 de novembro, numa reunião conjunta da Royal Society e da Royal Astronomical Society, em Londres, o vencedor do prêmio Nobel e presidente da Royal Society J. J. Thompson disse solenemente que esta foi “uma das maiores conquistas na história do pensamento humano. Não é a descoberta de uma ilha remota, mas de um continente inteiro de novas ideias científicas. É a maior descoberta associada com a gravitação desde que Newton expôs os seus princípios”.[13]

(Segundo a lenda, Eddington mais tarde foi abordado por um repórter: “Dizem que só três pessoas no mundo todo compreendem a teoria de Einstein. O senhor deve ser uma delas.” Eddington ficou calado, então o repórter disse: “Não seja modesto, Eddington.” Eddington deu de ombros e falou: “De modo algum. Eu estava imaginando quem seria a terceira pessoa.”)[14]

No dia seguinte, o *Times* de Londres causou sensação com a manchete: “Revolução na ciência – Nova Teoria do Universo – Derrubadas as Ideias de Newton”. A manchete marcou o momento em que Einstein se tornou uma figura mundialmente famosa, um mensageiro das estrelas.

Tão importante foi este anúncio, e tão radical o distanciamento de Einstein com relação a Newton, que ele também provocou uma reação hostil, quando físicos e astrônomos ilustres denunciaram a teoria. Na Universidade de Columbia, Charles Lane Poor, professor de mecânica celeste, liderou a crítica da relatividade dizendo: “Sinto-me como se estivesse vagando com Alice pelo País das Maravilhas e tomando chá com o Chapeleiro Maluco.”[15]

O que faz a relatividade contrariar o nosso bom senso não é que ela esteja errada, mas que o nosso bom senso não representa a realidade. *Nós* somos as figuras excêntricas do universo. Habitamos um local incomum, onde temperaturas, densidades e velocidades são bastante brandas. Entretanto, no “universo real”, as temperaturas podem ser escaldantes no centro das estrelas, ou congelantes no espaço cósmico, e partículas subatômicas que cortam velozes o espaço regularmente viajam a uma velocidade próxima à da luz. Em outras palavras, o nosso bom senso evoluiu numa parte extremamente incomum e obscura do universo, a Terra; não é de surpreender que nosso bom senso não compreenda o verdadeiro universo. O problema não está na relatividade, mas em supor que nosso bom senso represente a realidade.

O FUTURO DO UNIVERSO

Embora a teoria de Einstein tenha conseguido explicar fenômenos astronômicos como a deflexão da luz estelar em torno do Sol e a ligeira oscilação da órbita do planeta Mercúrio, suas previsões cosmológicas ainda eram confusas. As coisas se esclareceram muito com o físico russo Aleksandr Friedmann, que descobriu as soluções mais gerais e realistas para as equações de Einstein. Ainda hoje, elas são ensinadas em todos os cursos de pós-graduação em relatividade geral. (Ele as descobriu em 1922, mas morreu em 1925, e o seu trabalho ficou em grande parte esquecido durante anos.)

Normalmente, a teoria de Einstein consiste de uma série de equações dificílimas cuja solução muitas vezes exige a ajuda de um computador. Entretanto, Friedmann supôs que o universo era dinâmico e então formulou duas hipóteses simplificadoras (chamadas de princípio cosmológico): que o universo é isotrópico (tem a mesma aparência não importa para onde olhemos de um determinado ponto) e que o universo é homogêneo (ele é uniforme não importa aonde você for no universo).

Sob estas duas hipóteses simplificadoras, descobrimos que estas equações entram em colapso. (De fato, tanto as soluções de Einstein quanto as de W. de Sitter foram casos especiais da solução mais geral de Friedmann.) Significativamente, as suas soluções dependem de apenas três parâmetros:

1. *H*, que determina a taxa de expansão do universo. (Hoje, isto se chama a constante de Hubble, com o nome do astrônomo que realmente mediu a expansão do universo.)
2. *Ômega*, que mede a densidade média de matéria do universo.
3. *Lambda*, a energia associada com o espaço vazio, ou energia escura.

Muitos cosmólogos passaram toda a sua vida profissional tentando definir o valor exato destes três números. A sutil interação destas três constantes determina a evolução futura de todo o universo. Por exemplo, visto que a gravitação atrai, a densidade do universo Ômega age como uma espécie de freio, retardando a expansão do universo, invertendo alguns dos efeitos da taxa de expansão do Big Bang. Imagine lançar uma pedra no ar. Normalmente, a gravidade é forte o bastante para inverter a direção da pedra, que em seguida cai de volta na Terra. Entretanto, se alguém jogar a pedra rápido o bastante, então ela pode escapar da gravidade da Terra e sair voando para sempre no espaço cósmico. Como uma pedra, o universo originalmente se expandiu por causa do

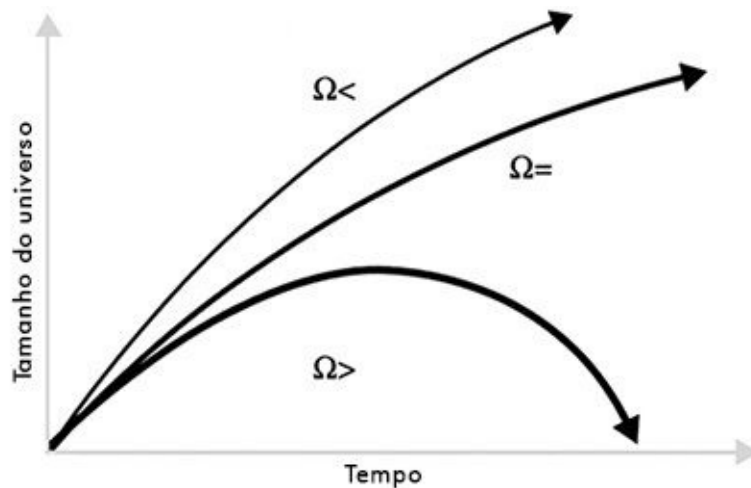
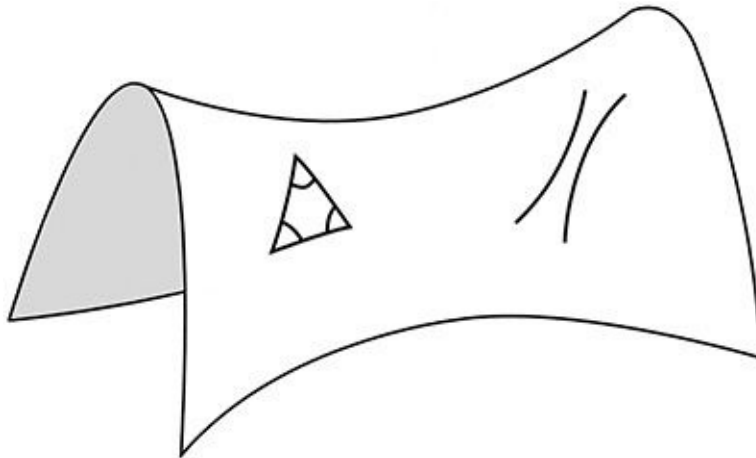
Big Bang, mas a matéria, ou Ômega, age como um freio sobre a expansão do universo, do mesmo modo que a gravidade da Terra age como um freio no caso da pedra.

Por enquanto, vamos supor que Lambda, a energia associada com o espaço vazio, é igual a zero. Deixemos que Ômega seja a densidade do universo dividida pela densidade crítica. (A densidade crítica do universo é de aproximadamente dez átomos de hidrogênio por metro cúbico. Para avaliar até que ponto o universo é vazio, a densidade crítica do universo corresponde a encontrar um único átomo de hidrogênio dentro do volume de três bolas de basquete, em média.)

Se Ômega é menor que 1, os cientistas concluem não existir matéria suficiente no universo para inverter a expansão original desde o Big Bang. (Como jogar uma pedra para cima: se a massa da Terra não é grande o suficiente, a pedra vai acabar deixando a Terra.) Consequentemente, o universo se expandirá para sempre, acabando por mergulhar num grande congelamento quando as temperaturas chegarem ao zero absoluto. (Este é o princípio por trás de um refrigerador ou ar-condicionado. Quando o gás se expande, ele resfria. No seu aparelho de ar-condicionado, por exemplo, o gás que circula numa tubulação expande, resfriando a tubulação e o seu quarto.)[16]

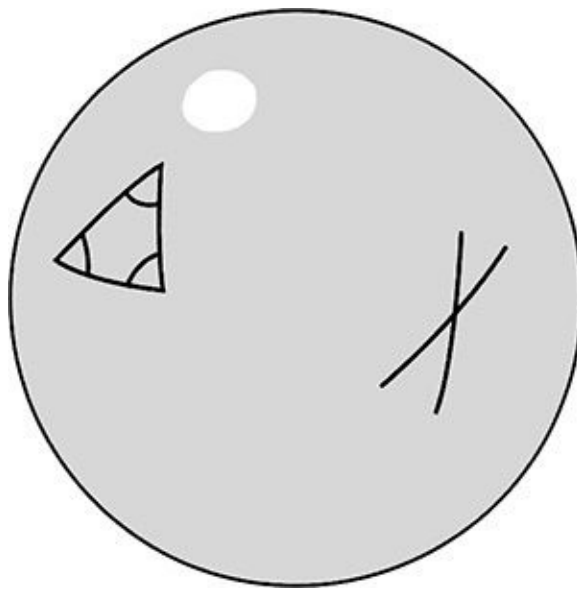
Se Ômega é maior que 1, então existem matéria e gravitação suficientes no universo para finalmente inverter a expansão cósmica. O resultado é que a expansão do universo vai parar e ele vai começar a se contrair. (Como a pedra jogada no ar: se a massa da Terra é grande o suficiente, a pedra vai acabar chegando a uma altura máxima e depois cairá de novo na Terra.) As temperaturas começarão a subir, à medida que as estrelas e galáxias correram em direção umas às outras. (Quem já encheu um pneu de bicicleta sabe que a compressão de gás gera calor. O trabalho mecânico de bombear o ar converte-se em energia térmica. Do mesmo modo, a compressão do universo converte a energia gravitacional em energia térmica.) No final, as temperaturas subirão tanto que a vida se extinguirá, à medida que o universo se dirigir para uma flamejante "grande implosão". O astrônomo Ken Croswell rotulou este processo de "da Criação para a Cremação".

Uma terceira possibilidade é a de que Ômega esteja posicionado exatamente em 1; em outras palavras, a densidade do universo é igual à densidade crítica, e, neste caso, o universo paira entre os dois extremos, mas vai se expandir para sempre. (Este cenário, veremos, é favorecido pelo quadro inflacionário.)

Finalmente, existe a possibilidade de que o universo, no desenlace de uma grande implosão, possa reemergir num novo Big Bang. Esta teoria é identificada como o universo oscilante.

A evolução do universo tem três histórias possíveis. Se Ômega é menor do que 1 (e Lambda é 0), o universo se expandirá para sempre até o grande congelamento. Se Ômega é maior do que 1, o universo voltará a entrar em colapso na grande implosão. Se Ômega é igual a 1, então o universo é chato e se expandirá para sempre. (Os dados do satéli te WMAP mostram que Ômega mais Lambda é igual a 1, o que significa que o universo é chato. Isto é coerente com a teoria inflacionária.)

Se Ômega é menor que 1 (e Lambda é 0), então o universo é aberto e sua curvatura é negativa, como numa sela. Linhas paralelas jamais se encontram, e os ângulos internos de triângulos somam menos de 180 graus.

Friedmann mostrou que cada um destes cenários, por sua vez, determina a curvatura do espaço-tempo. Se Ômega é menor do que 1 e o universo se expande para sempre, Friedmann mostrou que não só o tempo é infinito, mas o espaço também é infinito. Diz-se que o universo é “aberto”, isto é, infinito tanto no espaço quanto no tempo. Quando Friedmann calculou a curvatura deste universo, descobriu que era negativa. (Isto é como a superfície de uma sela ou de um trompete. Um inseto que vive sobre essa superfície descobriria que linhas paralelas jamais se encontram, e os ângulos internos de um triângulo somam menos de 180 graus.)

Se Ômega é maior do que 1, então o universo acabará se contraindo numa grande implosão. Tempo e espaço são finitos. Friedmann descobriu que a curvatura deste universo é positiva (como uma esfera). Finalmente, se Ômega é igual a 1, então o espaço é achatado e tanto o tempo quanto o espaço são ilimitados.

Não só Friedmann propôs a primeira abordagem abrangente para as equações cosmológicas de Einstein, como também deu a conjectura mais realista sobre o Dia do Juízo Final, o destino final do universo – se ele vai perecer num grande congelamento, fritar numa grande implosão ou oscilar para sempre. A resposta depende dos parâmetros cruciais: a densidade do universo e a energia do vácuo.

Se Ômega é maior do que 1, então o universo é fechado e sua curvatura positiva, como numa esfera. Linhas paralelas sempre se encontram e os ângulos internos de um triângulo somam mais de 180 graus.

Mas o quadro de Friedmann deixou um buraco escancarado. Se o universo está se expandindo, então isso significa que pode ter tido um início. A teoria de Einstein não disse nada sobre o instante deste início. O que estava faltando era o momento da criação, o Big Bang. E três cientistas acabariam nos dando um quadro mais fascinante do Big Bang.

CAPÍTULO TRÊS

O Big Bang

O universo não é só mais estranho do que supomos, ele é mais estranho do que somos capazes de supor.
– J. B. S. Haldane

O que nós, seres humanos, procuramos numa história da criação é um modo de experimentar o mundo que abrirá para nós o transcendente, que nos informará e ao mesmo tempo nos formará dentro dele. Isso é o que as pessoas querem. Isso é o que a alma pede.
– Joseph Campbell

A capa da revista *Time* do dia 6 de março de 1995, mostrando a grande galáxia em espiral M100, afirmava: "A cosmologia está em caos." A cosmologia estava entrando em convulsão porque os dados mais recentes do telescópio espacial Hubble pareciam indicar que o universo era mais jovem do que a sua estrela mais velha, uma impossibilidade científica. Os dados indicavam que o universo tinha entre 8 bilhões e 12 bilhões de anos, enquanto alguns acreditavam que a estrela mais velha tinha 14 bilhões de anos. "Não se pode ser mais velho do que a própria mãe", gracejou Christopher Impey, da Universidade do Arizona.

Mas, depois de ler as letrinhas miúdas, você percebeu que a teoria do Big Bang é bastante saudável. A evidência contrária à teoria do Big Bang baseava-se numa única galáxia, M100, o que é um jeito duvidoso de conduzir a ciência. As brechas eram, como reconhecia o artigo, "grandes o bastante para deixar passar a Nave Estelan Enterprise". Com base nos dados aproximados do telescópio espacial Hubble, a idade do universo não poderia ser calculada com uma precisão maior do que 10 a 20 por cento.

O que quero dizer é que a teoria do Big Bang não se baseava em especulações, mas em centenas de dados pontuais tomados de várias fontes diferentes, cada uma convergindo para sustentar uma teoria única e coerente. (Em ciência, nem todas as teorias são criadas iguais. Embora qualquer pessoa esteja livre para propor a sua própria versão da criação do universo, ela terá que explicar as centenas de dados pontuais que acumulamos e que são coerentes com a teoria do Big Bang.)

As três grandes "provas" da teoria do Big Bang baseiam-se no trabalho de três cientistas de enorme estatura que dominaram os seus respectivos campos de

conhecimento: Edwin Hubble, George Gamow e Fred Hoyle.

EDWIN HUBBLE, UM ASTRÔNOMO ARISTOCRATA

Enquanto os fundamentos teóricos da cosmologia foram assentados por Einstein, a moderna cosmologia de observação foi criada quase sem ajuda de mais ninguém por Edwin Hubble, que foi talvez o astrônomo mais importante do século XX.

Nascido em 1889 no interior de Marshfield, no Missouri, Hubble era um modesto menino do interior com grandes ambições. O pai, advogado e corretor de seguros, insistia para que ele seguisse carreira na advocacia. Hubble, entretanto, estava fascinado com os livros de Júlio Verne e encantado com as estrelas. Ele devorava clássicos da ficção científica como *Vinte mil léguas submarinas* e *Da Terra à Lua*. Era também um ótimo boxeador; os patrocinadores queriam que ele se profissionalizasse e lutasse contra o campeão mundial de pesos-pesados Jack Johnson.

Ele ganhou a prestigiosa bolsa de estudos Rhodes para estudar direito em Oxford, onde passou a adotar os maneirismos da alta sociedade britânica. (Usando ternos de tweed, fumando cachimbo, falando com um distinto sotaque britânico e comentando as cicatrizes adquiridas em duelos, que se dizia à boca pequena serem autoinfligidas.)

Hubble, entretanto, estava infeliz. O que realmente o motivava não eram delitos e processos legais; seu romance era com as estrelas, um caso que começou quando ele era criança. Num ato de coragem, ele trocou de carreira e foi para a Universidade de Chicago e para o observatório de Mount Wilson, na Califórnia, que na época abrigava o maior telescópio da Terra, com um espelho de 100 polegadas. Começando tão tarde na sua carreira, Hubble era um homem com pressa. Para compensar o tempo perdido, rapidamente se dispôs a responder a alguns dos mistérios mais profundos e antigos da astronomia.

Na década de 1920, o universo era um lugar confortável; acreditava-se que todo ele consistia apenas da galáxia Via Láctea, a faixa enevoada de luz que cruza o céu noturno, parecendo leite derramado. (A palavra “galáxia”, de fato, vem do termo grego para leite.) Em 1920, ocorreu o “Grande Debate” entre os astrônomos Harlow Shapley, de Harvard, e Heber Curtis, do Lick Observatory. Intitulado “A Escala do Universo”, tratou do tamanho da Via Láctea e do universo em si. Shapley adotou a posição de que a Via Láctea compunha todo o universo visível. Curtis acreditava que mais além da Via Láctea ficavam as

“nebulosas em espiral”, estranhos, mas belos farrapos de névoa em rodamoinhos. (Já no século XVIII, o filósofo Immanuel Kant havia especulado que estas nebulosas eram “universos-ilhas”.)

Hubble ficou intrigado com o debate. O principal problema era que a determinação da distância até as estrelas é (e continua sendo) uma das tarefas mais diabolicamente difíceis na astronomia. Uma estrela brilhante muito remota pode parecer idêntica a uma estrela de luz fraca próxima. Esta confusão era a origem de muitas grandes rixas e controvérsias entre os astrônomos. Hubble precisava de uma “vela padrão”, um objeto que emitisse a mesma quantidade de luz em qualquer parte do universo, para solucionar o problema. (Na verdade, boa parte do esforço da cosmologia até hoje consiste em tentar encontrar e calibrar essas velas padrão. Muitos dos grandes debates na astronomia giram em torno de se saber o quanto estas velas padrão são realmente confiáveis.) Se alguém tivesse uma vela padrão que queimasse de modo uniforme com a mesma intensidade por todo o universo, então uma estrela que fosse quatro vezes mais fraca do que o normal estaria simplesmente duas vezes mais distante da Terra.

Uma noite, analisando uma fotografia da nebulosa espiral Andrômeda, Hubble teve a surpresa da revelação. O que ele encontrou dentro de Andrômeda foi um tipo de estrela variável (chamada Cefeida) que tinha sido estudada por Henrietta Leavitt. Sabia-se que esta estrela crescia e enfraquecia regularmente com o tempo, e o tempo para um ciclo completo estava correlacionado com a sua luminosidade. Quanto mais brilhante a estrela, mais longo o ciclo de pulsação. Assim, medindo-se simplesmente a duração deste ciclo, era possível calibrar a sua luminosidade e, portanto, determinar a sua distância. Hubble descobriu que tinha um período de 31,4 dias, que, para sua surpresa, traduzia-se na distância de 1 milhão de anos-luz, bem longe da Via Láctea. (O disco luminoso da Via Láctea tem apenas 100 mil anos-luz de diâmetro. Cálculos posteriores mostrariam que Hubble, de fato, subestimou a verdadeira distância até Andrômeda, que está mais próxima de 2 milhões de anos-luz.)

Ao fazer a mesma experiência com outras nebulosas espiral, Hubble descobriu que elas também estavam bem fora da galáxia da Via Láctea. Em outras palavras, ficou claro para ele que estas nebulosas em espiral eram universos-ilhas inteiros por si sós – que a galáxia da Via Láctea era apenas uma galáxia num firmamento de galáxias.

De um só golpe, o tamanho do universo ficou imensamente maior. De uma única galáxia, o universo de repente estava povoado com milhões, talvez bilhões de galáxias irmãs. De um universo com apenas 100 mil anos-luz de diâmetro, de repente era um universo com talvez bilhões de anos-luz de diâmetro.

Só esta descoberta teria garantido a Hubble um lugar no panteão de

astrônomos. Mas ele foi além disso. Não apenas estava determinado a encontrar a distância até as galáxias, como queria calcular a velocidade com que elas se moviam também.

O EFEITO DOPPLER E O UNIVERSO EM EXPANSÃO

Hubble sabia que a maneira mais simples de calcular a velocidade de objetos distantes é analisar a mudança no som ou luz que eles emitem, conhecido também como efeito Doppler. Os carros fazem este som quando passam por nós numa rodovia. A polícia usa o efeito Doppler para calcular a velocidade do seu carro; eles disparam um raio laser na sua direção, que reflete de volta para o carro da polícia. Ao analisar a mudança na frequência do raio laser, a polícia pode calcular em que velocidade você está.

Se uma estrela, por exemplo, está se movendo na sua direção, as ondas de luz que ela emite ficam espremidas como um acordeão. Consequentemente, o seu comprimento de onda fica mais curto. Uma estrela amarela aparecerá ligeiramente azulada (porque a cor azul tem um comprimento de onda mais curto do que a amarela). Similarmente, se uma estrela está se afastando de você, as suas ondas de luz se esticam, dando-lhe um comprimento de onda mais longo, de modo que uma estrela amarela parece ligeiramente avermelhada. Quanto maior a distorção, maior a velocidade da estrela. Assim, se soubermos a mudança na frequência da luz estelar, podemos determinar a velocidade da estrela.

Em 1912, o astrônomo Vesto Slipher descobriu que as galáxias estavam se afastando da Terra em grande velocidade. Não apenas o universo era muito maior do que se esperava, ele também estava se expandindo muito rápido. Fora de pequenas flutuações, ele descobriu que as galáxias exibiam um desvio para o vermelho, causado por galáxias afastando-se de nós, em vez de ser um desvio para o azul. A descoberta de Slipher mostrou que o universo era realmente dinâmico e não estático, como Newton e Einstein tinham suposto.

Durante todos esses séculos que os cientistas passaram estudando os paradoxos de Bentley e Olbers, nenhum deles considerou a sério a possibilidade de que o universo estivesse se expandindo. Em 1928, Hubble fez uma viagem decisiva até a Holanda para se encontrar com Willem de Sitter. O que deixava Hubble intrigado era a previsão de De Sitter de que quanto mais distante estivesse uma estrela, mais rápido ela estaria se movendo. Imagine um balão inflando com galáxias marcadas na sua superfície. À medida que o balão expande, as galáxias que estão próximas umas das outras se afastam

relativamente devagar. Quanto mais próximas elas estiverem umas das outras, mais devagar elas se afastarão. Mas galáxias que estão mais afastadas na superfície do balão movem-se muito mais rápido.

De Sitter insistiu para que Hubble procurasse nos seus dados este efeito, que poderia ser verificado com a análise do desvio para o vermelho das galáxias. Quanto maior o desvio para o vermelho de uma galáxia, mas rápido ela estaria se afastando e, portanto, mais distante deveria estar. (Segundo a teoria de Einstein, o desvio para o vermelho de uma galáxia não era, tecnicamente falando, causado pelo rápido afastamento rápido da galáxia da Terra; pelo contrário, era causado pela expansão do espaço entre a galáxia e a Terra. A origem do desvio para o vermelho é que a luz que emana de uma galáxia distante é esticada ou alongada pela expansão de espaço, e portanto parece avermelhada.)

A LEI DE HUBBLE

Ao voltar para a Califórnia, Hubble atendeu ao conselho de De Sitter e procurou evidências deste efeito. Analisando 24 galáxias, ele descobriu que quanto mais distante uma galáxia estivesse, mais rápido ela estava se afastando da Terra, como as equações de Einstein tinham previsto. A razão entre as duas (velocidade dividida pela distância) era aproximadamente uma constante. Logo ela ficou conhecida como constante Hubble, ou de *H*. É talvez a constante mais importante em toda a cosmologia, porque a constante de Hubble informa a taxa em que o universo está se expandindo.

Se o universo está se expandindo, pensaram os cientistas, então talvez ele tivesse um início também. O inverso da constante de Hubble, de fato, dá um cálculo grosseiro da idade do universo. Imagine o videoteipe de uma explosão. No vídeo, vemos os fragmentos deixando o local da explosão e podemos calcular a velocidade de expansão. Mas isto também significa que podemos voltar a fita para trás, até que todos os fragmentos se juntem num único ponto. Como sabemos a velocidade de expansão, podemos grosseiramente trabalhar para trás e calcular o tempo em que ocorreu a explosão.

(A estimativa original de Hubble colocava a idade do universo mais ou menos em 1,8 bilhão de anos, o que deixou gerações de cosmólogos com dor de cabeça porque era menos do que se pensava ser a idade da Terra e das estrelas. Anos depois, os astrônomos perceberam que os erros cometidos na medição da luz das variáveis Cefeidas em Andrômeda tinham dado um valor incorreto da constante de Hubble. De fato, “guerras de Hubble” com relação ao valor exato da

constante de Hubble vêm sendo travadas nos últimos setenta anos. O valor mais definitivo hoje vem do satélite WMAP.)

Em 1931, na sua triunfante visita ao Observatório de Monte Wilson, Einstein conheceu Hubble. Percebendo que o universo estava mesmo se expandindo, ele chamou a constante cosmológica de seu “maior tropeço”. (Entretanto, até um tropeço de Einstein basta para abalar os alicerces da cosmologia, como vamos ver ao discutirmos os dados do satélite WMAP em capítulos posteriores.) Quando mostraram à esposa de Einstein o enorme observatório, disseram-lhe que o gigantesco telescópio estava determinando a forma definitiva do universo. A sra. Einstein respondeu sem mostrar muito interesse: “Meu marido faz isso no verso de um envelope usado.”

O BIG BANG

Um padre belga, Georges Lemaître, que aprendeu a teoria de Einstein, ficou fascinado com a ideia de que a teoria conduzia logicamente a um universo que estava se expandindo e, portanto, teve um começo. Como os gases aquecem ao serem comprimidos, ele percebeu que o universo no começo dos tempos deve ter sido quentíssimo. Em 1927, afirmou que o universo deve ter começado como um “superátomo” de incrível temperatura e densidade, que explodiu de repente, dando origem ao universo em expansão de Hubble. Ele escreveu: “A evolução do mundo pode ser comparada a um espetáculo de fogos de artifício que acabou de terminar: uns poucos farrapos vermelhos, cinzas e fumaça. De pé sobre um borralho bem resfriado, vemos o lento apagar dos sóis e tentamos lembrar do fulgor desvanecido da origem dos mundos.”[1]

(A primeira pessoa a propor esta ideia de um “superátomo” no começo dos tempos foi, mais uma vez, Edgard Allan Poe. Ele argumentou que a matéria atrai outras formas de matéria, portanto, no início dos tempos, deve ter havido uma concentração cósmica de átomos.)

Lemaître assistia a conferências sobre física e perturbava os outros cientistas com a sua ideia. Eles escutavam bem-humorados e depois a descartavam em silêncio. Arthur Eddington, um dos principais físicos da sua época, disse: “Como cientista, simplesmente não acredito que a atual ordem de coisas tenha começado com uma explosão... O conceito de um início abrupto para esta ordem atual da Natureza me é repugnante.”[2]

Mas, com o passar dos anos, sua persistência aos poucos foi vencendo a resistência da comunidade de físicos. O cientista que se tornaria o porta-voz

mais importante e divulgador da teoria do Big Bang acabou fornecendo a prova mais convincente da teoria.

GEORGE GAMOW, O BUFÃO CÓSMICO

Embora Hubble fosse o nobre sofisticado da astronomia, seu trabalho teve seguimento com George Gamow, outra figura extraordinária. George Gamow foi em muitos aspectos o seu oposto: um bufão, caricaturista, famoso por suas piadas e seus vinte livros sobre ciência, muitos para jovens adultos. Várias gerações de físicos (inclusive eu) foram criados com seus livros divertidos e cheios de informação sobre física e cosmologia. Numa época em que a relatividade e a teoria quântica estavam revolucionando a ciência e a sociedade, seus livros se destacavam: eram os únicos com credibilidade sobre ciência avançada disponíveis para os adolescentes.

Enquanto cientistas menos talentosos são muitas vezes desprovidos de ideias, contentando-se com um mero remoer de uma montoeira de dados áridos, Gamow foi um dos gênios criativos do seu tempo, um polímata que rapidamente produziu ideias que mudariam o rumo da física nuclear, da cosmologia e até da pesquisa do DNA. Não deve ter sido por acaso que a autobiografia de James Watson, que junto com Francis Crick desvendou o segredo da molécula de DNA, foi intitulada *Genes, Gamow, and Girls* (*Genes, Gamow e garotas*). Como lembrou o seu colega Edward Teller: “Noventa por cento das teorias de Gamow estavam erradas, e era fácil reconhecer isso. Mas ele não se importava. Era uma dessas pessoas sem nenhum orgulho especial por qualquer das suas invenções. Ele expunha a sua última ideia e depois a tratava como se fosse piada.”[3] Mas os dez por cento restantes das suas ideias mudariam toda a paisagem científica.

Gamow nasceu em Odessa, na Rússia, em 1904, durante as primeiras rebeliões sociais do país. Gamow lembrava que “as aulas eram com frequência suspensas quando Odessa era bombardeada por algum navio de guerra ou quando forças expedicionárias gregas, francesas ou britânicas encenavam um ataque à baioneta nas principais ruas da cidade contra forças russas brancas, vermelhas ou mesmo verdes entrincheiradas, ou quando forças russas de diferentes cores lutavam entre si”.[4]

O momento decisivo no início da sua vida aconteceu quando ele foi a uma igreja e, escondido, levou para casa um pouco do pão da comunhão depois do culto. Examinando com um microscópio, não viu nenhuma diferença entre o pão da comunhão, que representava a carne de Jesus Cristo, e o pão comum. E

concluiu: “Penso que este foi o experimento que fez de mim um cientista.”[5]

Ele foi educado na Universidade de Leningrado e estudou com o físico Aleksandr Friedmann. Mais tarde, na Universidade de Copenhague, conheceu muitos dos gigantes da física, como Niels Bohr. (Em 1932, ele e a mulher tentaram sem sucesso fugir da União Soviética numa jangada que ia da Crimeia para a Turquia. Depois, conseguiu fugir enquanto participava de uma conferência sobre física em Bruxelas, que lhe valeu uma condenação à morte pelos soviéticos.)

Gamow era famoso por enviar poemas humorísticos aos amigos. A maioria é impublicável, mas um deles capta as ansiedades dos cosmólogos quando se veem diante da enormidade dos números astronômicos e olham o infinito de frente:

> *Era uma vez um sujeito da Trindade*
> *Que tirou a raiz quadrada do infinito*
> *Mas o número de dígitos*
> *Lhe deu arrepios;*
> *Ele largou a matemática e foi estudar teologia.*[6]

Na década de 1920, na Rússia, Gamow conquistou seu primeiro grande sucesso ao solucionar o mistério de por que a decomposição radioativa era possível. Graças ao trabalho de Madame Curie e outros, os cientistas sabiam que o átomo de urânio era instável e emitia radiação na forma de um raio alfa (o núcleo de um átomo de hélio). Mas, de acordo com a mecânica newtoniana, a misteriosa força nuclear que mantém unido o núcleo deveria ter sido uma barreira que impedia este vazamento. Como isto era possível?

Gamow (e R. W. Gurney e E. U. Condon) perceberam que a decomposição radioativa era possível porque, na teoria quântica, o princípio da incerteza dizia que ninguém sabe exatamente a localização e a velocidade de uma partícula; portanto, havia uma pequena probabilidade de que ela pudesse “tunelar” ou passar através da barreira. (Hoje, esta ideia de tunelar é central para toda a física e usada para explicar as propriedades de aparelhos eletrônicos, buracos negros e o Big Bang. O próprio universo poderia ter sido criado por tunelamento.)

Por analogia, Gamow imaginou um prisioneiro trancado numa cadeia, cercado de enormes muros. Num mundo newtoniano clássico, era impossível fugir. Mas no estranho mundo da teoria quântica, você não sabe exatamente onde está o prisioneiro ou a sua velocidade. Se ele bater nos muros da prisão com bastante frequência, você pode calcular as chances de que um dia ele passe através deles, em direta violação do senso comum e da mecânica newtoniana. Existe uma probabilidade finita e calculável de que ele seja encontrado do lado de fora dos

portões do muro da cadeia. No caso de objetos grandes como prisioneiros, você teria de esperar mais tempo do que a vida do universo para este milagre acontecer. Mas com as partículas alfa e as partículas subatômicas, isso acontece o tempo todo, porque estas partículas batem nas paredes dos núcleos repetidamente com uma quantidade enorme de energia. Muitos acham que Gamow deveria ter ganhado o prêmio Nobel por este trabalho de importância vital.

Na década de 1940, os interesses de Gamow começaram a mudar da relatividade para a cosmologia, que ele via como um terreno fértil a ser explorado. Tudo que se conhecia sobre o universo naquela época era que o céu era escuro e o universo estava se expandindo. Gamow foi guiado por uma única ideia: encontrar qualquer evidência ou “fósseis” que provassem ter havido um Big Bang há bilhões de anos. Isto era frustrante, porque a cosmologia não é uma ciência experimental no verdadeiro sentido da palavra. Não existem experimentos que possam ser feitos a respeito do Big Bang. A cosmologia é mais como uma história de detetives, uma ciência da observação na qual você procura “relíquias” ou evidências no cenário do crime, e não uma ciência experimental em que é possível realizar experiências precisas.

A COZINHA NUCLEAR DO UNIVERSO

A grande contribuição seguinte de Gamow para a ciência foi a sua descoberta das reações nucleares que deram origem aos elementos mais leves que vemos no universo. Ele gostava de chamá-las de a “cozinha pré-histórica do universo”, onde todos os elementos do universo foram originalmente cozinhados pelo intenso calor do Big Bang. Hoje, este processo é chamado de “nucleossíntese” ou cálculo das abundâncias relativas dos elementos no universo. A ideia de Gamow era de que havia uma cadeia contínua, começando com o hidrogênio, que podia ser construída acrescentando-se sucessivamente mais partículas ao átomo de hidrogênio. Toda a tabela periódica dos elementos químicos de Mendeleev, ele acreditava, podia ser criada a partir do calor do Big Bang.

Gamow e seus alunos raciocinaram que, se o universo era um conjunto incrivelmente quente de prótons e nêutrons no instante da criação, então talvez tenha acontecido a fusão, em que átomos de hidrogênio fundindo-se produzem átomos de hélio. Como numa bomba de hidrogênio ou uma estrela, as temperaturas são tão quentes que os prótons de um átomo de hidrogênio são esmigalhados uns contra os outros até se fundirem, criando núcleos de hélio.

Colisões subsequentes entre hidrogênio e hélio produziriam, de acordo com esta hipótese, o conjunto seguinte de elementos, inclusive o lítio e o berílio. Gamow supunha que os elementos seguintes podiam ser sequencialmente formados acrescentando-se mais e mais partículas subatômicas ao núcleo – em outras palavras, que todos os cento e tantos elementos que compõem o universo visível foram “cozidos” no calor flamejante da bola de fogo original.

Como era do seu estilo, Gamow expôs em linhas gerais este ambicioso programa e deixou que seu aluno de doutorado, Ralph Alpher, preenchesse os detalhes.[7] Quando o artigo ficou pronto, ele não resistiu a uma piada. Colocou o nome do físico Hans Bethe no artigo sem a sua permissão, e ele ficou sendo o famoso artigo alfa-beta-gama.

O que Gamow havia descoberto era que o Big Bang realmente foi quente o bastante para criar hélio, que compõe cerca de 25 por cento do universo, em massa. Trabalhando no sentido inverso, é possível encontrar uma “prova” do Big Bang olhando simplesmente as muitas estrelas e galáxias de hoje e percebendo que elas são compostas de cerca de 75 por cento de hidrogênio, 25 por cento de hélio e alguns elementos residuais. (Como disse David Spergel, astrofísico de Princeton: “Sempre que você compra um balão, está comprando átomos [alguns dos quais] feitos nos primeiros minutos do Big Bang.”)

Entretanto, Gamow também encontrou problemas com os cálculos. A sua teoria funcionava bem para os elementos muito leves. Mas elementos com 5 e 8 nêutrons e prótons são extremamente instáveis e, portanto, não podem atuar como uma “ponte” para criar elementos que tenham um número maior de prótons e nêutrons. A ponte foi derrubada em 5 e 8 partículas. Visto que o universo é composto de elementos pesados com muito mais do que 5 e 8 nêutrons e prótons, isto resultou num mistério cósmico. O fracasso do programa de Gamow em ir além da lacuna de partículas-5 e partículas-8 permaneceu um problema difícil de ser resolvido durante anos, condenando sua visão de mostrar que todos os elementos do universo foram criados no momento do Big Bang.[8]

RADIAÇÃO DE FUNDO DE MICROONDAS

Ao mesmo tempo, outra ideia o intrigava: se o Big Bang foi tão incrivelmente quente, talvez um pouco do seu calor residual ainda estivesse circulando no universo hoje. Neste caso, seria um “registro fóssil” do próprio Big Bang. Talvez o Big Bang tenha sido tão colossal que a sua repercussão ainda estivesse enchendo o universo com uma névoa uniforme de radiação.

Em 1946, Gamow supôs que o Big Bang começou com um núcleo superquente de nêutrons. Era uma hipótese razoável, visto que muito pouco se sabia sobre partículas subatômicas além do elétron, próton e nêutron. Se conseguisse avaliar a temperatura desta bola de nêutrons, ele percebeu que poderia calcular a quantidade e a natureza da radiação que ela emitiu. Dois anos depois, Gamow mostrou que a radiação emitida por este núcleo superquente agiria como "radiação de corpo negro". Este é um tipo muito específico de radiação emitida por um objeto quente: ela absorve toda a luz que o atinge, devolvendo a radiação de uma forma característica. Por exemplo, o Sol, lava derretida, carvões quentes no fogo e cerâmicas quentes num forno, todos têm um brilho amarelo avermelhado e emitem radiação de corpo negro. (A radiação de corpo negro foi descoberta pelo famoso produtor de porcelana, Thomas Wedgwood, em 1792. Ele notou que a matéria-prima, quando cozida nos fornos, mudava de cor do vermelho para o amarelo e depois para o branco, à medida que ele aumentava a temperatura.)

Isto é importante porque, uma vez conhecida a cor de um objeto quente, pode-se saber também mais ou menos a sua temperatura e vice-versa; a fórmula exata relacionando a temperatura de um objeto quente com a radiação que ele emite foi obtida pela primeira vez por Max Planck, em 1900, que deu origem à teoria quântica. (Esta, de fato, é uma das maneiras como os cientistas determinam a temperatura solar. O sol irradia principalmente luz amarela, que, por sua vez, corresponde a uma temperatura de corpo negro de aproximadamente 6.000 K. Assim sabemos a temperatura atmosférica externa do Sol. Do mesmo modo, a estrela gigante vermelha Betelgeuse tem uma temperatura superficial de 3.000 K, a temperatura de corpo negro correspondendo à cor vermelha, que também é emitida por um pedaço de carvão em brasa vermelho.)

No artigo de Gamow, publicado em 1948, foi a primeira vez que alguém sugeriu que a radiação do Big Bang poderia ter uma característica específica – uma radiação de corpo negro. A característica mais importante da radiação de corpo negro é a sua temperatura. Em seguida, Gamow teve de computar a temperatura atual da radiação de corpo negro.

O aluno de doutorado de Gamow, Ralph Alpher e outro estudante, Robert Herman, tentaram completar o cálculo de Gamow computando a sua temperatura. Gamow escreveu: "Extrapolando desde os primeiros dias do universo até o presente, descobrimos que durante os éons que se passaram, o universo deve ter resfriado para cerca de 5 graus acima da temperatura absoluta."[9]

Em 1948, Alpher e Herman publicaram um artigo com argumentos detalhados explicando por que a temperatura deixada pelo Big Bang hoje deveria ser 5

graus acima do zero absoluto (a sua estimativa chegou bem perto do que agora sabemos ser a temperatura correta, de 2,7 graus acima de zero). Esta radiação, que eles identificaram na faixa de microondas, deveria ainda estar circulando em torno do universo hoje, postularam eles, enchendo o cosmo de um esplendor uniforme.

(A argumentação é a seguinte. Durante anos depois do Big Bang, a temperatura do universo era tão quente que sempre que se formava um átomo, ele se rompia; portanto, havia muitos elétrons livres que podiam espalhar a luz. Por conseguinte, o universo era opaco, e não transparente. Qualquer feixe de luz movendo-se neste universo superquente seria absorvido depois de viajar uma curta distância, de modo que o universo parecia enevoado. Depois de 380 mil anos, entretanto, a temperatura caiu para 3.000 graus. Abaixo desta temperatura, os átomos não se rompem mais devido às colisões. Como resultado, átomos estáveis podiam se formar, e feixes de luz podiam agora viajar durante anos-luz sem serem absorvidos. Assim, pela primeira vez, o espaço vazio se tornava transparente. Esta radiação, que não era mais absorvida instantaneamente assim que era criada, está circulando no universo hoje.)

Quando Alpher e Herman mostraram a Gamow os cálculos finais da temperatura do universo, ele ficou desapontado. A temperatura era tão fria que seria extremamente difícil medir. Gamow levou um ano para acabar concordando que os detalhes dos cálculos estavam corretos. Mas perdeu as esperanças de um dia ser capaz de medir um campo de radiação tão fraco. Os instrumentos disponíveis na década de 1940 eram por demais inadequados para medir este tênue eco. (Num cálculo posterior, usando uma hipótese incorreta, Gamow empurrou a temperatura da radiação para 50 graus.)

Eles deram uma série de palestras para divulgar o seu trabalho. Mas, infelizmente, o seu resultado profético foi ignorado. Alpher tinha dito: “Nós gastamos uma enorme energia dando palestras sobre o trabalho. Ninguém mordeu; ninguém disse que podia ser medida... Então, de 1948 até 1955, nós desistimos.”[10]

Impávido, Gamow, com seus livros e palestras, tornou-se a principal personalidade que insistia na teoria do Big Bang. Mas ele encontrou alguém a sua altura num feroz adversário muito parecido com ele. Enquanto Gamow encantava a plateia com suas piadinhas, Fred Hoyle fascinava o público com o seu brilhantismo e sua ousadia agressiva.

FRED HOYLE, DO CONTRA

A radiação de fundo de microondas nos dá a “segunda prova” do Big Bang. Mas a pessoa com a menor probabilidade de apresentar a terceira grande prova do Big Bang por meio da nucleossíntese era Fred Hoyle, um homem que ironicamente passou quase toda a sua vida profissional tentando refutar a teoria do Big Bang.

Hoyle era a personificação do desajustado acadêmico, um sujeito brilhante e do contra que às vezes ousava desafiar o pensamento convencional com o seu estilo brigão. Enquanto Hubble era o perfeito aristocrata, imitando os maneirismos de um nobre de Oxford, e Gamow era o bufão divertido e polímata capaz de fascinar plateias com suas piadinhas, o estilo de Hoyle era o de um buldogue grosseirão; ele parecia curiosamente deslocado nos velhos salões da Universidade de Cambridge, antigo refúgio de Isaac Newton.

Hoyle nasceu em 1915, no norte da Inglaterra, filho de um comerciante de tecidos, numa área dominada pela indústria de lã. Quando criança, ele se entusiasmou com a ciência. O rádio estava chegando no vilarejo, ele recorda, e vinte ou trinta pessoas ansiosamente equiparam as suas casas com receptores de rádio. Mas o momento decisivo na sua vida foi quando os pais lhe deram um telescópio de presente.

O estilo combativo de Hoyle começou quando ele era menino. Ele havia dominado as tabuadas de multiplicar aos três anos de idade, e então o professor lhe pediu para aprender os números romanos. “Como alguém pode ser tão idiota a ponto de escrever VIII em vez de 8?”, ele lembrava com desprezo. Mas quando lhe disseram que, por lei, ele deveria frequentar uma escola, escreveu: “Concluí que, infelizmente, eu havia nascido num mundo dominado por um monstro feroz chamado ‘lei’, que era ao mesmo tempo todo-poderoso e totalmente idiota.”[11]

O seu desdém pela autoridade foi cimentado também por uma rixa com outra professora, que disse à turma que uma determinada flor tinha cinco pétalas. Provando que ela estava errada, ele levou para a sala de aula uma flor com seis pétalas. Por esse impudente ato de insubordinação, ela lhe deu uma pancada na orelha esquerda.[12] (Mais tarde, Hoyle ficou surdo deste ouvido.)

A TEORIA DO ESTADO ESTACIONÁRIO

Na década de 1940, Hoyle se apaixonou pela teoria do Big Bang. Um dos defeitos da teoria era que Hubble, devido aos erros na medição da luz de galáxias distantes, tinha calculado de forma errônea a idade do universo como sendo 1, 8 bilhão de anos. Os geólogos alegaram que a Terra e o sistema solar

deveriam ter muitos bilhões de anos. Como podia o universo ser mais jovem do que os seus planetas?

Com os colegas Thomas Gold e Hermann Bondi, Hoyle começou a formular uma teoria rival. Diz a lenda que a teoria deles, a teoria do estado estacionário, foi inspirada num filme de 1945 chamado *Dead of Night*, estrelado por Michael Redgrave. O filme consiste em uma série de histórias de fantasmas, mas na cena final tem uma virada memorável: ele termina exatamente como começou. Por conseguinte, o filme é circular, sem princípio nem fim. Isto deve ter inspirado os três a propor uma teoria do universo que também não tivesse princípio nem fim. (Gold, mais tarde, esclareceu esta história. Ele lembrou: “Acho que vimos o filme meses antes e, depois que sugeri o estado estacionário, eu lhes disse: ‘Não parece um pouco com *Dead of Night*?’”[13])

Neste modelo, porções do universo estão, de fato, se expandindo, mas matéria nova está sempre sendo criada do nada, de modo que a densidade do universo permanece a mesma. Embora ele não pudesse explicar em detalhes como a matéria misteriosamente surgia do nada, a teoria atraiu de imediato um bando de legalistas que combatiam os teóricos do Big Bang. Para Hoyle, não tinha lógica um cataclisma flamejante aparecer do nada e disparar galáxias em todas as direções; ele preferia a sua criação de massa à parte do nada. Em outras palavras, o universo era atemporal. Não tinha fim, nem começo. Existia, simplesmente.

(A controvérsia entre estado estacionário e Big Bang era semelhante à controvérsia que afetava a geologia e outras ciências. Na geologia, havia o eterno debate entre o uniformitarismo [a crença de que a Terra foi formada por mudanças graduais no passado] e o catastrofismo [que postulava que a mudança ocorria por meio de ocorrências catastróficas]. Embora o uniformitarismo ainda explique boa parte das características geológicas e ecológicas da Terra, ninguém hoje pode negar o impacto de cometas e asteroides, que geraram extinções em massa, ou o rompimento e movimentos dos continentes por meio de deslocamentos tectônicos.)

PALESTRAS DA BBC

Hoyle nunca se esquivou de uma boa briga. Em 1949, tanto Hoyle quanto Gamow foram convidados pela British Broadcasting Corporation (BBC) para debaterem a origem do universo. Durante a transmissão, Hoyle fez história ao criticar com sarcasmo a teoria rival. Ele disse profeticamente: “Estas teorias baseavam-se na hipótese de que toda a matéria no universo foi criada num *Big*

Bang (num estouro), numa determinada época, num passado remoto." O nome pegou. A teoria rival estava agora oficialmente batizada de "Big Bang" pelo seu maior inimigo. (Mais tarde, ele afirmou que não pretendia ser depreciativo. Ele confessou: "Eu não cunhei a expressão para que fosse depreciativa. Eu a cunhei para ser surpreendente.")[14]

(Com o passar dos anos, os defensores do Big Bang tentaram heroicamente mudar o nome. Não estavam satisfeitos com a sua conotação comum, quase vulgar, e com o fato de ter sido inventado pelo seu maior adversário. Os puristas sentem-se bastante incomodados por ele ser factualmente incorreto. Primeiro, o Big Bang não foi *big*, ou seja "grande" – visto que se originou de uma minúscula singularidade muito menor que um átomo – e, segundo, não houve *bang*, explosão – visto não haver ar no espaço cósmico. Em agosto de 1993, a revista *Sky and Telescope* patrocinou um concurso para mudar o nome da teoria do Big Bang. Coletaram treze mil inscrições, mas os juízes não conseguiram encontrar nenhum melhor do que o original.)

O que selou a fama de Hoyle por toda uma geração foi a sua célebre série sobre ciência na rádio BBC. Na década de 1950, a BBC planejava transmitir palestras sobre ciência nas noites de sábado. Mas, quando o convidado original cancelou a sua participação, os produtores tiveram de achar um substituto. Ligaram para Hoyle, que aceitou continuar com o programa. E, quando foram conferir a sua ficha, lá estava uma observação que dizia "NÃO USEM ESTE HOMEM".

Por sorte, eles ignoraram este alerta sinistro de um produtor anterior, e Hoyle deu ao mundo cinco palestras fascinantes. As clássicas transmissões da BBC hipnotizaram a nação e em parte inspiraram a geração seguinte de astrônomos. O astrônomo Wallace Sargent lembra do impacto que causaram nele: "Quando eu tinha quinze anos, ouvia Fred Hoyle pela BBC dando palestras chamadas 'A Natureza do Universo'. A ideia de que se sabia a temperatura e a densidade no centro do Sol foi um choque enorme. Aos quinze anos, esse tipo de coisa parecia além do conhecimento. Não eram só os números incríveis, mas o fato de se poder conhecê-los."[15]

NUCLEOSSÍNTESE NAS ESTRELAS

Hoyle, que desdenhava especulações ociosas de gabinete, começou a testar a sua teoria do estado estacionário. Agradava-lhe a ideia de que os elementos do universo foram cozidos, não no Big Bang, como acreditava Gamow, mas no

centro de estrelas. Se cem ou mais elementos químicos foram todos criados pelo intenso calor das estrelas, então não haveria necessidade de nenhum Big Bang.

Numa série de artigos seminais publicados nas décadas de 1940 e 1950, Hoyle e seus colegas expuseram, em vívidos detalhes, como as reações nucleares no centro de uma estrela, não o Big Bang, poderiam acrescentar mais e mais prótons e nêutrons aos núcleos de hidrogênio e hélio, até que eles pudessem criar todos os elementos mais pesados, pelo menos até o ferro. (Eles solucionaram o mistério de como criar elementos além de número de massa 5, que havia deixado Gamow perplexo. Num golpe de genialidade, Hoyle percebeu que se houvesse uma forma instável de carbono não observada anteriormente, criada a partir de três núcleos de hélio, ela poderia durar tempo suficiente para agir como uma "ponte", permitindo a criação de elementos mais elevados. No centro das estrelas, esta nova forma instável de carbono, ao acrescentar sucessivamente mais nêutrons e prótons, poderia durar exatamente o tempo necessário para que fosse possível criar elementos além dos de número de massa 5 e 8. Quando esta forma instável de carbono foi realmente encontrada, demonstrou brilhantemente que a nucleossíntese poderia ocorrer nas estrelas, e não no Big Bang. Hoyle até criou um grande programa de computador capaz de determinar, quase do princípio, as abundâncias relativas dos elementos que encontramos na natureza.)

Mas até o intenso calor das estrelas não é suficiente para "cozinhar" elementos além do ferro, como cobre, níquel, zinco e urânio. (É dificílimo extrair energia fundindo-se elementos além do ferro, por várias razões, incluindo a repulsão dos prótons nos núcleos e a falta de energia de ligação.) Para aqueles elementos pesados, precisa-se de um forno ainda maior – a explosão de estrelas maciças, ou supernovas. Visto que trilhões de graus podem ser alcançados nos últimos estertores de uma estrela supergigante quando ela entra violentamente em colapso, há suficiente energia ali para "cozinhar" os elementos além do ferro. Isto significa que a maioria dos elementos além do ferro foram, de fato, lançados de atmosferas de estrelas explosivas, ou supernovas.

Em 1957, Hoyle, Margaret e Geoffrey Burbidge e William Fowler publicaram porventura o trabalho mais decisivo, detalhando os passos exatos necessários para construir os elementos do universo e prever as suas abundâncias conhecidas. Seus argumentos foram tão precisos, poderosos e persuasivos que até Gamow foi obrigado a reconhecer que Hoyle havia dado o quadro mais atrativo da nucleossíntese. Gamow até cunhou o trecho a seguir em estilo bíblico. No início, quando Deus estava criando os elementos:

> Na empolgação da contagem, Ele esqueceu de chamar o número de massa cinco, e, portanto, naturalmente nenhum elemento mais pesado podia ter sido formado. Deus ficou muito desapontado, e quis primeiro contrair de novo o Universo, e começar tudo outra vez desde o início. Mas isso teria

> sido simples demais. Portanto, sendo Todo-poderoso, Deus decidiu corrigir o Seu engano de uma forma bastante impossível. E Deus disse: “Faça-se Hoyle.” E fez-se Hoyle. E Deus olhou para Hoyle... E lhe disse para fazer elementos pesados do jeito que preferisse. E Hoyle decidiu fazer elementos pesados nas estrelas e espalhá-los ao redor com explosões de supernovas.[16]

EVIDÊNCIAS CONTRA O ESTADO ESTACIONÁRIO

Durante décadas, entretanto, as evidências contra o estado estacionário do universo começaram a crescer lentamente em várias frentes. Hoyle se viu travando uma batalha perdida. Na sua teoria, visto que o universo não evoluiu, mas estava continuamente criando nova matéria, o universo primordial deveria parecer muito com o universo atual. Galáxias vistas hoje deveriam parecer muito semelhantes às galáxias de bilhões de anos atrás. A teoria do estado estacionário poderia, então, ser refutada se houvesse sinais de mudanças evolutivas drásticas no decorrer de bilhões de anos.

Na década de 1960, fontes misteriosas de imensa energia foram encontradas no espaço cósmico, chamadas de “quasares”, ou objetos quase-estelares. (O nome era tão interessante que um aparelho de TV mais tarde foi chamado assim.) Os quasares geravam quantidades enormes de energia e tinham imensos desvios para o vermelho, o que significava que estavam distantes bilhões de anos-luz e também iluminaram os céus quando o universo era muito jovem. (Hoje, os astrônomos acreditam que estas são galáxias jovens gigantes, impulsionadas pela energia de imensos buracos negros.) Nós não temos evidência de nenhum quasar hoje, embora, de acordo com a teoria do estado estacionário, eles devessem existir. Ao longo de bilhões de anos, eles desapareceram.

Havia outro problema com a teoria de Hoyle. Os cientistas perceberam que havia hélio demais no universo para se encaixar nas previsões do universo do estado estacionário. O hélio, conhecido como o gás encontrado nos balões infantis e pequenos dirigíveis, é, na verdade, muito raro na Terra, mas é o segundo elemento mais abundante no universo depois do hidrogênio. É tão raro, de fato, que foi encontrado primeiro no Sol, e não na Terra. (Em 1868, os cientistas analisaram a luz que vinha do Sol passando por um prisma. A luz solar defletida dividia-se nas habituais cores e linhas espectrais do arco-íris, mas os cientistas também detectaram leves linhas espectrais causadas por um misterioso elemento jamais visto antes. Eles pensaram erroneamente ser um metal, cujos nomes em geral terminam em “io”, como lítio e urânio. Eles deram a este metal misterioso o nome grego para sol, “hélio”. Finalmente, em 1895, o hélio foi

encontrado na Terra em depósitos de urânio, e os cientistas constrangidos descobriram que era um gás, não um metal. Portanto, o hélio, descoberto primeiro no Sol, nasceu com um erro de nomenclatura.)

Se o hélio primordial foi criado principalmente nas estrelas, como Hoyle acreditava, então deveria ser muito raro e encontrado perto do núcleo das estrelas. Mas todos os dados astronômicos mostravam que o hélio era, na verdade, muito abundante, com cerca de 25 por cento da massa dos átomos no universo. Descobriu-se que era distribuído de maneira uniforme por todo o universo (como Gamow acreditava).

Hoje, sabemos que tanto Gamow como Hoyle tinham partes da verdade no que diz respeito à nucleossíntese. Gamow originalmente pensava que todos os elementos químicos eram precipitações radioativas ou cinzas do Big Bang. Mas a sua teoria foi vítima da lacuna da partícula-5 e partícula-8. Hoyle pensou que poderia abolir totalmente a teoria do Big Bang mostrando que estrelas "cozinharam" todos os elementos, sem nenhuma necessidade de recorrer a um Big Bang. Mas a sua teoria não levou em conta a imensa abundância de hélio que hoje sabemos existir no universo.

Em essência, Gamow e Hoyle nos deram um quadro complementar da nucleossíntese. Os elementos muito leves, até os de número de massa 5 e 8, foram realmente criados pelo Big Bang, como acreditava Gamow. Hoje, como resultado de descobertas no campo da física, sabemos que o Big Bang produziu a maior parte do deutério, hélio-3, hélio-4 e lítio-7 que vemos na natureza. Mas os elementos mais pesados até o ferro foram principalmente cozidos nos núcleos das estrelas, como Hoyle acreditava. Se adicionarmos os elementos além do ferro (como cobre, zinco e ouro) que foram gerados pelo calor intenso de uma supernova, então temos um quadro completo para explicar as abundâncias de todos os elementos no universo. (Qualquer teoria rival da cosmologia moderna teria uma tarefa formidável: explicar as abundâncias relativas dos cento e tantos elementos no universo e seus milhares de isótopos.)

COMO NASCEM AS ESTRELAS

Um subproduto deste intenso debate sobre a nucleossíntese é que ele nos deu uma descrição bastante completa do ciclo de vida das estrelas. Uma estrela típica como o nosso Sol começa a sua vida como uma grande bola de gás de hidrogênio difuso chamada proto estrela e gradualmente se contrai sob a força da gravidade. Quando começa a entrar em colapso, ela começa a girar rapidamente

(o que muitas vezes leva à formação de um sistema de estrela dupla, onde duas estrelas correm uma atrás da outra em órbitas elípticas, ou a formação de planetas no plano de rotação da estrela). O centro da estrela também se aquece tremendamente até atingir mais ou menos um milhão de graus ou mais, quando ocorre a fusão de hidrogênio em hélio.

Depois que a estrela se incendeia, é chamada de uma estrela da sequência principal e pode queimar por cerca de 10 bilhões de anos, lentamente transformando seu núcleo de hidrogênio para hélio residual. O nosso Sol se encontra atualmente neste processo. Quando termina a era de queima de hidrogênio, a estrela começa a queimar hélio, expandindo-se imensamente até o tamanho da órbita de Marte e se torna uma "gigante vermelha". Esgotado o combustível de hélio no núcleo, as camadas exteriores da estrela se dissipam, deixando apenas o núcleo, uma estrela "anã branca" mais ou menos do tamanho da Terra. Estrelas menores, como o nosso Sol, morrerão no espaço como nacos de material nuclear morto em estrelas anãs brancas.

Mas nas estrelas com cerca de dez a quarenta vezes a massa do nosso sol, o processo de fusão ocorre muito mais rápido. Quando a estrela se torna uma supergigante vermelha, seu núcleo rapidamente funde os elementos mais leves, de modo que ela parece uma estrela híbrida, uma anã branca dentro de uma gigante vermelha. Nesta estrela anã branca, podem ser criados os elementos mais leves até o ferro na tabela periódica de elementos. Quando o processo de fusão chega à fase na qual é criado o elemento ferro, não pode mais ser extraída energia desse processo, e assim a fornalha nuclear, depois de bilhões de anos, finalmente se apaga. Neste ponto, a estrela entra abruptamente em colapso, criando pressões enormes que, na verdade, empurram os elétrons para dentro dos núcleos. (A densidade pode exceder 400 bilhões de vezes a densidade da água.) Isto faz as temperaturas subirem a trilhões de graus. A energia gravitacional comprimida dentro deste objeto minúsculo explode numa supernova. O calor intenso deste processo faz a fusão começar de novo, e os elementos além do ferro na tabela periódica são sintetizados.

A supergigante vermelha Betelgeuse, por exemplo, que pode ser vista facilmente na constelação de Órion, é instável; ela pode explodir a qualquer momento como uma supernova, cuspindo grandes quantidades de raios gama e raios X pela vizinhança. Quando isso acontecer, esta supernova será visível durante o dia e poderá brilhar mais do que a Lua à noite. (Já se pensou que a energia titânica liberada por uma supernova tivesse destruído os dinossauros há 65 milhões de anos atrás. Uma supernova a uns 10 anos-luz daqui poderia, de fato, acabar com a vida na Terra. Felizmente, as estrelas gigantes Spica e Betelgeuse estão a 260 e 430 anos-luz, respectivamente, distantes demais para

provocar muitos danos graves à Terra quando finalmente explodirem. Mas alguns cientistas acreditam que uma extinção em pequena escala de criaturas marinhas há 2 milhões de anos foi causada pela explosão de supernova de uma estrela distante 120 anos-luz.)

Isto também significa que o nosso Sol não é a verdadeira "mãe" da Terra. Embora muitos povos terrestres tenham adorado o Sol como um deus que deu origem à Terra, isto é só em parte correto. Embora a Terra tenha se originado do Sol (como parte do plano eclíptico de fragmentos de rocha e poeira que circulavam em torno do Sol há 4,5 bilhões de anos), o nosso Sol não é quente o suficiente para fundir hidrogênio em hélio. Isto quer dizer que a nossa verdadeira "mãe-sol" foi, na realidade, uma estrela anônima ou um conjunto de estrelas que morreram há bilhões de anos numa supernova, que depois semeou nebulosas próximas, com os elementos além do ferro que compõem o nosso corpo. Literalmente, nossos corpos são feitos de poeira estelar, das estrelas que morreram há bilhões de anos.

Depois de uma explosão de supernova, resta um minúsculo fragmento chamado de estrela de nêutrons, que é feito de matéria nuclear sólida, comprimida ao tamanho de Manhattan, com quase 30 quilômetros. (As estrelas de nêutrons foram previstas pela primeira vez pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky, em 1933, mas pareciam tão fantásticas que foram ignoradas pelos cientistas durante décadas.) Como a estrela de nêutron está emitindo radiação irregularmente e também girando muito rápido, ela parece um farol rodopiando, cuspindo radiação ao mesmo tempo. Vista da Terra, a estrela de nêutrons parece latejar e portanto é chamada de um pulsar.

Estrelas extremamente grandes, porventura maiores do que 40 massas solares, quando finalmente sofrem uma explosão de supernova, podem deixar para trás uma estrela de nêutron tão grande que pode neutralizar a força repulsiva entre nêutrons, e a estrela enfrentará o seu colapso final, no que é, talvez, o objeto mais exótico do universo, um buraco negro, sobre o qual discorrerei no Capítulo 5.

EXCREMENTO DE PASSARINHO E O BIG BANG

A última estocada no coração da teoria do estado estacionário foi a descoberta de Arno Penzias e Robert Wilson, em 1965. Trabalhando no Bell Laboratory Holmdell Horn Radio Telescope, em Nova Jersey, eles procuravam sinais de rádio vindos do espaço quando captaram uma estática indesejada. Pensaram que

devia ser uma anomalia, porque parecia estar vindo uniformemente de todas as direções, e não de uma única estrela ou galáxia. Imaginando que a estática poderia ser proveniente de sujeira ou fragmentos pequenos, eles limparam com todo o cuidado o que Penzias descreveu como “uma camada branca de material dielétrico” (comumente conhecido como excremento de passarinho) que havia coberto a abertura do radiotelescópio. A estática pareceu aumentar ainda mais. Embora não soubessem ainda, eles haviam tropeçado por acaso no fundo de microondas previsto pelo grupo de Gamow em 1948.

Agora a história cosmológica ficou um pouco parecida com os policiais da Keystone, com três grupos procurando às cegas uma resposta sem que os outros soubessem. Por um lado, Gamow, Alpher e Hermann já haviam exposto a teoria por trás do fundo de microondas em 1948; eles haviam previsto a temperatura da radiação de microondas como de 5 graus acima do zero absoluto. Mas desistiram de tentar medir a radiação de fundo do espaço porque os instrumentos da época não eram sensíveis o suficiente para detectá-la. Em 1965, Penzias e Wilson encontram esta radiação de corpo negro, mas não sabiam disso. Nesse meio-tempo, um terceiro grupo, liderado por Robert Dicke, da Universidade de Princeton, havia redescoberto, independentemente, a teoria de Gamow e seus colegas e estava se esforçando para encontrar a radiação de fundo, mas o equipamento que usava era de um primitivismo lamentável.

Esta cômica situação terminou quando um amigo em comum, o astrônomo Bernard Burke, informou Penzias sobre o trabalho de Robert Dicke. Quando os dois grupos finalmente entraram em contato, ficou claro que Penzias e Wilson haviam detectado sinais do próprio Big Bang. Por esta importante descoberta, Penzias e Wilson ganharam o prêmio Nobel em 1978.

Pensando melhor, Hoyle e Gamow, os dois proponentes mais visíveis das teorias opostas, tiveram um profético encontro num Cadillac, em 1956, que poderia ter mudado o rumo da cosmologia. “Lembro de George dando um passeio comigo num Cadillac branco”, recordou Hoyle. Gamow repetiu para Hoyle a sua convicção de que o Big Bang deixara um resplendor que deveria ser visto até hoje. Entretanto, os cálculos mais recentes de Gamow haviam colocado a temperatura desse resplendor em 50 graus. Em seguida, Hoyle fez uma surpreendente revelação a Gamow. Ele sabia da existência de um artigo pouco conhecido, de Andrew McKellar, mostrando que a temperatura do espaço cósmico não podia exceder 3 graus. A temperaturas superiores, podem ocorrer novas reações que criariam radicais excitados de carbono-hidrogênio (CH) e carbono-nitrogênio (CN) no espaço cósmico. Medindo-se os espectros desses elementos químicos, era possível então determinar a temperatura do espaço cósmico. De fato, ele descobriu que a densidade de moléculas de CN que

detectara no espaço indicavam um temperatura de cerca de 2,3 graus K. Em outras palavras, sem Gamow saber disso, a radiação de fundo com 2,7 K já havia sido indiretamente detectada em 1941.

Hoyle lembrou: “Seja por causa do enorme conforto do Cadillac, ou porque George queria uma temperatura acima de 3 K, enquanto eu queria uma temperatura de zero grau, perdemos a oportunidade de identificar a descoberta feita nove anos depois por Arno Penzias e Bob Wilson.”[17] Se o grupo de Gamow não tivesse cometido um erro numérico e tivesse encontrado uma temperatura mais baixa, ou se Hoyle não tivesse hostilizado a teoria do Big Bang, talvez a história tivesse sido escrita de outra forma.

ABALOS PESSOAIS POSTERIORES DO BIG BANG

A descoberta do fundo de microondas por Penzias e Wilson teve um efeito decisivo sobre a carreira de Gamow e Hoyle. Para Hoyle, o trabalho de Penzias e Wilson foi uma experiência quase mortal. Em 1965, na revista *Nature*, Hoyle acabou reconhecendo oficialmente a derrota, citando o fundo de microondas e a abundância de hélio como razões para abandonar a sua teoria do estado estacionário. Mas o que o perturbou, na verdade, foi que a teoria do estado estacionário havia perdido o seu poder de previsão. “Muita gente acredita que a existência do fundo de microondas matou a cosmologia do ‘estado estacionário’, mas o que realmente acabou com ele foi a psicologia... Aqui, no fundo de microondas, havia um fenômeno importante que ele não havia previsto... Durante muitos anos, isto me deixou perturbado.”[18] (Hoyle depois voltou atrás, tentando consertar com novas variações a teoria do estado estacionário do universo, mas cada variação se tornava cada vez menos plausível.)

Infelizmente, a questão da prioridade deixou um gosto amargo em Gamow. Se formos ler nas entrelinhas, Gamow não estava satisfeito com o fato de seu trabalho e o de Alpher e Hermann raramente serem mencionados. Sempre educado, ele guardou silêncio sobre os seus sentimentos, mas em cartas particulares escreveu ser uma injustiça que físicos e historiadores ignorassem totalmente o seu trabalho.

Embora o trabalho de Penzias e Wilson fosse um imenso golpe na teoria do estado estacionário e ajudasse a colocar o Big Bang sobre bases experimentais firmes, havia enormes lacunas na nossa compreensão da estrutura do universo em expansão. Num universo de Friedmann, por exemplo, é preciso saber o valor de Ômega, a distribuição média da matéria no universo, para compreender a sua

evolução. Entretanto, a determinação de Ômega ficou bastante problemática quando se percebeu que a maior parte do universo não era feita de átomos ou moléculas conhecidas, mas de uma estranha e nova substância chamada “matéria escura”, que excede a matéria comum por um fator de 10. Mais uma vez, os líderes neste campo não foram levados a sério pelo resto da comunidade da astronomia.

ÔMEGA E A MATÉRIA ESCURA

A história da matéria escura é talvez um dos capítulos mais estranhos da cosmologia. Na década de 1930, o indisciplinado astrônomo suíço Fritz Zwicky, da Cal Tech, notou que as galáxias no aglomerado de Coma não estavam se movendo corretamente segundo a gravitação newtoniana. Estas galáxias, ele descobriu, moviam-se tão rápido que deveriam se afastar umas das outras e o aglomerado se dissolveria, segundo as leis do movimento de Newton. A única maneira de o aglomerado de Coma se manter unido, em vez de se afastar, pensou Zwicky, era se ele tivesse centenas de vezes mais matéria do que se podia ver com um telescópio. Ou as leis de Newton de certa forma eram incorretas para distâncias galáticas, ou havia uma quantidade enorme de matéria invisível, perdida, no aglomerado de Coma que o mantinha unido.

Este foi o primeiro indício na história de que havia algo terrivelmente errado no que se referia à distribuição de matéria no universo. Infelizmente os astrônomos, sem exceção, rejeitaram ou ignoraram o trabalho pioneiro de Zwicky, por vários motivos.

Primeiro, os astrônomos relutavam em acreditar que a gravitação newtoniana, que dominara a física por vários séculos, pudesse estar errada. Havia um precedente para lidar com crises como esta na astronomia. Quando a órbita de Urano foi analisada no século XIX, descobriu-se que ela cambaleava – ela se desviava um tantinho das equações de Isaac Newton. Então, ou Newton estava errado, ou deveria haver um novo planeta cuja gravidade estivesse arrastando Urano. A última hipótese estava certa, e descobriu-se Netuno na primeira tentativa, em 1846, analisando-se a localização prevista pelas leis de Newton.

Segundo, havia a questão da personalidade de Zwicky e de como os astrônomos tratavam os “de fora”. Zwicky era um visionário que foi muitas vezes ridicularizado ou ignorado durante a sua vida. Em 1933, com Walter Baade, ele cunhou a palavra “supernova” e corretamente previu que uma minúscula estrela de nêutron, de cerca de 22,5 km de diâmetro, seria o refúgio

derradeiro de uma estrela explodindo. A ideia era tão bizarra que foi alvo de sátira num quadrinho publicado no *Los Angeles Times*, no dia 19 de janeiro de 1934. Zwicky ficou furioso com um grupinho da elite de astrônomos que, ele pensava, tentavam excluí-lo do reconhecimento, roubar suas ideias e negar-lhe tempo nos telescópios de 100 e 200 polegadas. (Pouco antes de morrer, em 1974, Zwicky publicou por conta própria um catálogo de galáxias. O catálogo abria com o cabeçalho: "Um Lembrete para os Sumos Sacerdotes da Astronomia Americana e seus Sicofantas." O artigo fazia uma crítica severa à natureza exclusivista e fechada da elite da astronomia, que tendia a barrar dissidentes como ele. "Os sicofantas de hoje e os ladrões comuns parecem ter liberdade, na astronomia americana em particular, para se apropriarem de descobertas e invenções feitas por lobos solitários e não conformistas", escreveu ele. Ele chamou a estes indivíduos de "cretinos esféricos", porque "eles são cretinos de qualquer ângulo que sejam vistos".[19] Ele ficou furioso por ter sido ignorado quando outra pessoa recebeu o prêmio Nobel pela descoberta da estrela de nêutrons.)[20]

Em 1962, o curioso problema do movimento galático foi redescoberto pela astrônoma Vera Rubin. Ela estudou a rotação da Via Láctea e descobriu o mesmo problema; ela, também, foi tratada com frieza pela comunidade de astrônomos. Normalmente, quanto mais distante um planeta estiver do Sol, mais lento ele é. Quanto mais próximo, mais rápido ele se move. É por isso que Mercúrio recebeu o nome do deus da velocidade, porque está muito perto do Sol, e é por isso que a velocidade de Plutão é dez vezes mais lenta do que a de Mercúrio, porque está mais distante do Sol. Entretanto, quando Vera Rubin analisou as estrelas azuis na nossa galáxia, descobriu que as estrelas giravam em torno da galáxia com a mesma velocidade, independentemente da sua distância do centro galático (que tem o nome de curva de rotação plana), desobedecendo, portanto, aos preceitos da mecânica newtoniana. De fato, ela descobriu que a galáxia da Via Láctea estava girando tão rápido que deveria se romper violentamente. Mas a galáxia tem permanecido estável há uns 10 bilhões de anos; por que a curva de rotação era plana, era um mistério. Para que a galáxia não se desintegrasse, tinha de ser dez vezes mais pesada do que os cientistas estavam imaginando. Pelo visto, faltavam 90 por cento da massa da Via Láctea!

Vera Rubin foi ignorada, em parte porque era mulher. Com uma certa mágoa, ela lembra que quando se candidatou para o curso de especialização em ciência, no Swarthmore College, e por acaso disse à pessoa que a estava entrevistando que gostava de pintar, ouviu: "Você já pensou em fazer carreira pintando quadros de objetos astronômicos?" Ela lembrou: "Isso virou refrão na minha família:

durante anos, sempre que alguma coisa dava errado para alguém, nós dizíamos: ‘Já pensou em fazer carreira pintando quadros de objetos astronômicos?’ Quando ela contou ao seu professor de física do ginásio que fora aceita em Vassar, ele respondeu: “Você vai se sair bem, desde que fique longe da ciência.” Ela lembraria depois: “É preciso um bocado de autoestima para escutar essas coisas e não se sentir arrasada.”[21]

Depois de formada, ela se candidatou e foi aceita em Harvard, mas recusou porque se casou e acompanhou o marido, um químico, em Cornell. (Ela recebeu uma carta-resposta de Harvard, com as palavras escritas à mão no final: “Vocês, mulheres, são uma desgraça. Sempre que consigo uma que é boa, ela arruma um marido e se casa.”) Recentemente, ela participou de uma conferência sobre astronomia no Japão e era a única mulher presente. “Durante muito tempo não conseguia contar esta história sem chorar, porque, sem dúvida, em uma geração... não mudou muita coisa”, ela confessou.

Não obstante, o peso do seu trabalho cuidadoso, e do trabalho de outros, foi pouco a pouco convencendo a comunidade de astronomia do problema da massa perdida. Em 1978, Rubin e seus colegas tinham examinado onze galáxias em espiral; todas giravam rápido demais para estarem unidas, segundo as leis de Newton. Naquele mesmo ano, o radioastrônomo holandês Albert Bosma publicou a análise mais completa de dezenas de galáxias em espiral; quase todas exibiam o mesmo comportamento anômalo. Isto afinal pareceu convencer a comunidade da astronomia de que a matéria escura realmente existia.

A solução mais simples para este angustiante problema era supor que as galáxias estavam rodeadas por um halo invisível contendo dez vezes mais matéria do que as próprias estrelas. Desde aquela época, outras formas mais sofisticadas vêm sendo desenvolvidas para medir a presença dessa matéria invisível.* Como as lentes dos óculos que você usa, a matéria escura curva a luz (devido a sua enorme massa e, portanto, à atração gravitacional). Recentemente, ao analisar com atenção as fotografias do telescópio espacial Hubble com um computador, os cientistas puderam montar mapas da distribuição da matéria escura por todo o universo.

Uma competição feroz vem sendo travada para se descobrir de que é feita a matéria escura. Alguns cientistas pensam que possa consistir de matéria comum, exceto pelo fato de ser muito turva (isto é, feita de estrelas anãs marrons, estrelas de nêutron, buracos negros e outras coisas mais, que são quase invisíveis). Esses objetos são tratados globalmente e conhecidos como “matéria bariônica”, isto é, matéria feita de bárions conhecidos (como nêutrons e prótons). Coletivamente, são chamados de MACHOs (sigla para Massive Compact Halo Objects, ou seja, Objetos de Halo Compacto Maciço).

Outros acham que a matéria escura talvez consista de matéria não bariônica muito quente, como neutrinos (chamados de matéria escura quente). Entretanto, os neutrinos se movem tão rápido que não podem ser a explicação para o acúmulo de matéria escura e galáxias que vemos na natureza. Outros ainda se exasperam e pensam que a matéria escura foi feita de um tipo totalmente novo de matéria, chamado "matéria escura fria", ou WIMPS (partículas massivas de interação fraca), que são o principal candidato para explicar a maior parte da matéria escura.

O SATÉLITE COBE

Usando um telescópio comum, a ferramenta essencial da astronomia desde os tempos de Galileu, é impossível solucionar o mistério da matéria escura. A astronomia progrediu notavelmente usando a ótica terrestre padrão. Entretanto, na década de 1990, atingia a maturidade uma nova geração de instrumentos que usava a mais recente tecnologia de satélites, lasers e computadores, e mudou totalmente a face da cosmologia.

Um dos primeiros frutos desta colheita foi o satélite COBE (Cosmic Background Explorer, ou Explorador de Fundo Cósmico), lançado em novembro de 1989. Enquanto o trabalho original de Penzias e Wilson confirmava apenas uns poucos dados pontuais coerentes com o Big Bang, o satélite COBE foi capaz de medir uma porção de dados pontuais que batiam exatamente com a previsão da radiação de corpo negro feita por Gamow e seus colegas em 1948.

Em 1990, num encontro da Astronomica Americana Society, mil e quinhentos cientistas levantaram-se na plateia em ovação ao verem os resultados do COBE colocados numa transparência, mostrando um acordo quase perfeito com um fundo de microondas com uma temperatura de 2.728 K.

O astrônomo de Princeton, Jeremiah P. Ostriker, observou: "Quando os fósseis foram encontrados nas rochas, eles esclareceram totalmente a origem das espécies. Bem, o COBE descobriu os fósseis [do universo]."[22]

Entretanto, as transparências do COBE eram bastante imprecisas. Por exemplo, os cientistas queriam analisar "pontos quentes" ou flutuações dentro da radiação de fundo cósmica; flutuações que deveriam ser de cerca de um grau no céu. Mas os instrumentos do COBE podiam apenas detectar flutuações de 7 graus ou mais; não eram sensíveis o bastante para detectar estes pequenos pontos quentes. Os cientistas foram obrigados a esperar pelos resultados do satélite WMAP, a ser lançado depois da virada do século e que, esperavam eles,

resolveria um grande número dessas questões e mistérios.

CAPÍTULO QUATRO

Inflação e Universos Paralelos

Nada pode vir do nada.
– Lucrécio

Suponho que o nosso Universo realmente surgiu de lugar nenhum há cerca de 10^{10} anos... Faço a modesta proposta de que o nosso Universo é simplesmente uma dessas coisas que acontecem de tempos em tempos.
– Edward Tryon

O Universo basicamente é de graça.
– Alan Guth

No clássico romance de ficção científica *Tau Zero*, escrito por Poul Anderson, uma nave espacial chamada Leonora Christine é lançada numa missão para chegar a estrelas próximas. Levando cinquenta pessoas, a nave pode atingir velocidades próximas da velocidade da luz ao viajar para um novo sistema solar. Mais importante, a nave usa um princípio de relatividade especial que diz que o tempo passa mais lentamente dentro da nave quanto mais rápido ela se move. Por conseguinte, uma viagem a estrelas próximas que leva décadas, vista da Terra, parece durar apenas alguns anos para os astronautas. Para alguém na Terra observando os astronautas com um telescópio, seria como se eles estivessem congelados no tempo, numa espécie de animação suspensa. Mas, para os astronautas a bordo, o tempo progride normalmente. Quando a nave espacial desacelerar e os astronautas desembarcarem num novo mundo, eles verificarão que viajaram trinta anos-luz em apenas alguns anos.

A nave é uma maravilha da engenharia; ela é movida por motores de fusão que tiram o hidrogênio do espaço profundo e em seguida o queima para obter energia ilimitada. Ela navega tão rápido que a tripulação até pode ver o desvio Doppler da luz estelar; as estrelas na frente deles parecem azuladas, enquanto as que estão atrás parecem avermelhadas.

E aí acontece o desastre. A uns dez anos-luz da Terra, atravessando uma nuvem de poeira estelar, a nave passa por uma turbulência e o seu mecanismo de desaceleração fica inutilizado. A tripulação horrorizada se vê presa numa nave espacial em fuga, acelerando cada vez mais à medida que se aproxima da

velocidade da luz. Eles assistem, impotentes, à nave descontrolada passar por sistemas estelares inteiros em questão de minutos. Em um ano, a nave espacial atravessa metade da Via Láctea. À medida que acelera fora de controle, passa veloz por galáxias em poucos meses, ainda que milhões de anos tenham se passado na Terra. Em breve, eles estarão viajando tão perto da velocidade da luz, tau zero, que assistem a eventos cósmicos, já que o próprio universo começa a envelhecer diante dos seus olhos.

Por fim, eles veem que a expansão original do universo está sendo revertida e que ele está se contraindo. As temperaturas começam a subir drasticamente à medida que eles percebem que estão se encaminhando para a grande implosão. Em silêncio, a tripulação reza enquanto as temperaturas sobem vertiginosamente, as galáxias começam a se fundir e um átomo primordial cósmico se forma diante deles. A morte por incineração, pelo visto, é inevitável.

A única esperança é que a matéria colapse numa área finita de densidade finita e que, viajando na grande velocidade em que estão, possam passar rápido por ali. Por milagre, a blindagem da nave os protege quando atravessam o átomo primordial, e eles assistem à criação de um novo universo. À medida que o universo se expande, eles se deslumbram com o surgimento de novas estrelas e galáxias bem diante de seus olhos. Eles consertam a nave e cuidadosamente mapeiam o seu curso para uma galáxia antiga o bastante para ter os elementos mais pesados que tornarão a vida possível. Acabam localizando um planeta capaz de abrigar vida e ali estabelecem uma colônia para começar a humanidade novamente.

Esta história foi escrita em 1967, quando um intenso debate era travado entre os astrônomos sobre o destino final do universo: se ele morreria numa grande implosão ou num grande congelamento, se oscilaria indefinidamente ou viveria para sempre num estado estacionário. Desde então, o debate parece ter se acalmado, e surgiu uma nova teoria chamada inflação.

O NASCIMENTO DA INFLAÇÃO

"PERCEPÇÃO ESPETACULAR", escreveu Alan Guth no seu diário em 1979. Ele estava exultante, compreendendo que talvez tivesse topado com uma das grandes ideias da cosmologia. Guth tinha feito a primeira revisão importante da teoria do Big Bang, em cinquenta anos, ao fazer uma observação seminal: ele poderia solucionar alguns dos enigmas mais misteriosos da cosmologia partindo da hipótese de que o universo sofre uma hiperinflação turbinada no instante do

seu nascimento, astronomicamente mais veloz que a maioria dos físicos acreditava. Com esta hiperexpansão, ele descobriu que poderia solucionar muitas questões cosmológicas profundas, que desafiavam explicações, sem muito esforço. Era uma ideia que acabaria revolucionando a cosmologia. (Dados cosmológicos recentes, inclusive os resultados obtidos com o satélite WMAP, são coerentes com as suas previsões.) Não é a única teoria cosmológica, mas é de longe a mais simples e mais verossímil.

É extraordinário que uma ideia tão simples pudesse resolver tantas questões cosmológicas espinhosas. Um dos vários problemas que a inflação solucionou com elegância foi o do achatamento. Dados astronômicos mostram que a curvatura do universo é muito próxima de zero, de fato muito mais próxima do que a maioria dos astrônomos acreditava. Isso podia ser explicado se o universo, como um balão que está sendo rapidamente inflado, fosse achatado durante o período de inflação. Nós, como formigas caminhando na superfície de um balão, somos simplesmente pequenos demais para observar a minúscula curvatura dele. A inflação esticou tanto o espaço-tempo que ele parece plano.

O que fez a descoberta de Guth entrar para a história, também, foi que ela representava a aplicação da física de partículas elementares, que envolve a análise das menores partículas encontradas na natureza, à cosmologia, que é o estudo do universo na sua totalidade, inclusive a sua origem. Hoje, percebemos que é impossível solucionar os grandes mistérios do universo sem a física do extremamente pequeno: o mundo da teoria quântica e da física de partículas elementares.

A BUSCA DA UNIFICAÇÃO

Guth nasceu em 1947, em New Brunswick, Nova Jersey. Ao contrário de Einstein, Gamow ou Hoyle, não houve nenhum instrumento ou momento seminal a impulsioná-lo para o mundo da física. Nem o pai nem a mãe tinham diploma universitário ou mostravam muito interesse pela ciência. Mas, segundo ele mesmo reconhece, sempre foi fascinado pela relação entre a matemática e as leis da natureza.

No MIT, na década de 1960, ele pensou seriamente em seguir carreira na física de partículas elementares. Em particular, estava fascinado pelo entusiasmo gerado por uma novidade que estava revolucionando a física, a busca da unificação de todas as forças fundamentais. Há séculos, o cálice sagrado da física tem sido a busca de temas unificadores, capazes de explicar as

complexidades do universo do modo mais simples e mais coerente. Desde os gregos, os cientistas imaginam que o universo que vemos hoje representa os fragmentos estilhaçados do que restou de uma simplicidade maior, e nosso objetivo é revelar esta unificação.

Depois de 2 mil anos investigando a natureza da matéria e da energia, os físicos determinaram que apenas quatro forças fundamentais movem o universo. (Os cientistas tentaram procurar uma quinta força, mas até agora todos os resultados nesta direção foram negativos ou inconclusivos.)

A primeira força é a gravitação, que mantém o Sol estável e guia os planetas em suas órbitas celestes no sistema solar. Se a gravidade fosse de repente "desligada", as estrelas no céu explodiriam, a Terra se desintegraria e seríamos todos lançados no espaço cósmico a uns 1.500 quilômetros por hora.

A segunda grande força é o eletromagnetismo, a força que ilumina nossas cidades, enche o nosso mundo de televisões, telefones celulares, rádios, raios lasers e a internet. Se a força eletromagnética acabasse de repente, a civilização seria no mesmo instante lançada um ou dois séculos para o passado, nas trevas e no silêncio. Isto foi ilustrado com bastante realismo com o apagão que paralisou toda a região nordeste dos Estados Unidos em 2003. Se examinar a força eletromagnética microscopicamente, veremos que, na verdade, ela é feita de partículas minúsculas, os quanta, chamados fótons.

A terceira força é a força nuclear fraca, responsável pelo decaimento radioativo. Como a força fraca não é forte o suficiente para manter estável o núcleo do átomo, ela deixa que o núcleo se quebre ou desintegre. A medicina nuclear nos hospitais depende bastante da força nuclear. A força fraca também ajuda a aquecer o núcleo da Terra por intermédio de materiais radioativos, que acionam a imensa energia dos vulcões. A força fraca, por sua vez, baseia-se nas interações de elétrons e neutrinos (partículas espectrais quase sem massa, que atravessam trilhões de quilômetros de chumbo sólido sem interagir com nada). Estes elétrons e neutrinos interagem com a troca de outras partículas, chamadas bósons-W e Z.

A força nuclear forte mantém estáveis os núcleos dos átomos. Sem a força forte, todos os núcleos se desintegrariam, os átomos se dividiriam, e a realidade que conhecemos se dissolveria. A força nuclear forte é responsável pelos aproximadamente cem elementos que vemos preenchendo o universo. Juntas, as forças nucleares fraca e forte são responsáveis pela luz que emana das estrelas por intermédio da equação de Einstein, $E = mc^2$. Sem a força nuclear, o universo inteiro seria escurecido, baixando a temperatura na Terra e congelando os oceanos.

A característica surpreendente destas quatro forças é que elas são totalmente

diferentes umas das outras, com intensidades e propriedades diversas. Por exemplo, a gravidade é, de longe, a mais fraca das quatro, 10^{36} vezes mais fraca do que a força eletromagnética. A Terra pesa 6 trilhões de trilhões de quilogramas, mas o seu peso maciço e a sua gravidade podem ser facilmente anulados pela força eletromagnética. O pente que você usa, por exemplo, é capaz de recolher pedacinhos de papel por eletricidade estática, anulando portanto a gravidade de toda a Terra. E a gravidade é estritamente atrativa. A força eletromagnética pode ser tanto atrativa quanto repulsiva, dependendo da carga da partícula.

UNIFICAÇÃO NO BIG BANG

Uma das questões fundamentais que a física enfrenta é: por que o universo deve ser governado por quatro forças distintas? E por que estas quatro forças parecem tão diversas, com intensidades diferentes, interações diferentes e físicas diferentes?

Einstein foi o primeiro a entrar numa campanha para unificar estas forças numa teoria única e abrangente, começando por unir a gravitação com a força eletromagnética. Ele fracassou porque estava muito à frente do seu tempo: sabia-se muito pouco sobre a força forte para que se formulasse uma teoria realista do campo unificada. Mas o trabalho pioneiro de Einstein abriu os olhos do mundo da física para a possibilidade de uma “teoria de tudo”.

A meta de uma teoria de campo unificada parecia completamente inútil na década de 1950, ainda mais porque a física de partículas elementares estava num caos total, com colisores de átomos explodindo núcleos para encontrar os “componentes elementares” da matéria, para encontrar apenas mais partículas que fluíam das experiências. A “física das partículas elementares” tornou-se uma contradição em termos, uma piada cósmica. Os gregos pensavam que dividindo-se uma substância até os seus blocos básicos de construção, as coisas ficariam mais simples. Aconteceu o oposto: os físicos lutavam para encontrar letras suficientes no alfabeto grego para rotular estas partículas. J. Robert Oppenheimer brincava dizendo que o prêmio Nobel de física deveria ir para o físico que *não* descobrisse uma nova partícula naquele ano. O vencedor de um Nobel, Steven Weinberg, começou a duvidar se a mente humana seria capaz de descobrir o segredo da força nuclear.

Mas esta imensa confusão foi, de certo modo, controlada no início da década de 1960, quando Murray Gell-Mann e George Zweig, do Cal Tech, sugeriram a

ideia dos quarks, os elementos que compõem os prótons e nêutrons. Segundo a teoria dos quarks, três deles compunham um próton ou um nêutron, e um quark mais um antiquark faziam um méson (uma partícula que mantém o núcleo estável). Esta foi apenas uma solução parcial (visto que hoje temos uma enxurrada de diferentes tipos de quarks), mas serviu para injetar nova energia num campo antes adormecido.

Em 1967, os físicos Steven Weinberg e Abdus Salam fizeram uma espantosa descoberta, mostrando ser possível unificar as forças fraca e eletromagnética. Os dois criaram uma nova teoria por meio da qual elétrons e neutrinos (que são chamados de léptons) interagiam uns com os outros ao trocarem novas partículas chamadas de bósons-W e bósons-Z, assim como fótons. Ao tratar os bósons-W e Z e os fótons em igualdade de condições, eles criaram uma teoria que unificava as duas forças. Em 1979, Steve Weinberg e Abdus Salam receberam o prêmio Nobel por seu trabalho conjunto de unificação de duas das quatro forças, a força eletromagnética com a força fraca, e proporcionando uma compreensão mais clara da força nuclear forte.

Na década de 1970, os físicos analisaram os dados que chegavam do acelerador de partículas da Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), que disparava feixes intensos de elétrons num alvo a fim de sondar profundamente o interior do próton. Eles descobriram que a força nuclear forte que mantém estáveis os quarks dentro do próton podia ser explicada introduzindo-se novas partículas chamadas glúons, que são os quanta da força nuclear forte. A força aglutinante que mantém estável o próton pode ser explicada pela troca de glúons entre os quarks constituintes. Isto levou a uma nova teoria da força nuclear forte chamada cromodinâmica quântica.

Então, lá por meados da década de 1970, foi possível reunir três das quatro forças (excluindo a gravitação) para se obter o assim chamado Modelo Padrão, uma teoria de quarks, elétrons e neutrinos, que interagem pela troca de glúons, bósons-W e Z, e fótons. É o ápice de décadas de lentas e penosas pesquisas no campo da física de partículas. Atualmente, o Modelo Padrão ajusta-se a todos os dados experimentais relativos à física de partículas, sem exceção.

Embora o Modelo Padrão seja uma das teorias físicas de maior sucesso de todos os tempos, ele é extremamente feio. É difícil acreditar que a natureza, num nível fundamental possa operar segundo uma teoria que parece tão mal montada. Por exemplo, existem dezenove parâmetros arbitrários na teoria que são simplesmente colocados à mão, sem nenhuma razão (isto é, as várias massas e intensidades de interação não são determinadas pela teoria, mas têm de ser determinadas por experimento: teoricamente, numa teoria unificada de verdade, estas constantes seriam determinadas pela própria teoria, sem depender de

experimentos externos).

Além do mais, existem três cópias exatas das partículas elementares, chamadas gerações. É difícil acreditar que a natureza, no seu nível mais fundamental, incluísse três cópias exatas de partículas subatômicas. Exceto pelas massas destas partículas, estas gerações são duplicatas umas das outras. (Por exemplo, as cópias do elétron incluem o múon, que pesa 200 vezes mais do que o elétron, e a partícula tau, que pesa 3.500 vezes mais.) E, por fim, o Modelo Padrão não menciona a gravitação, embora a gravidade seja talvez a força mais difundida no universo.

Esta é, das partículas subatômicas contidas no Modelo Padrão, a teoria de partículas elementares de maior sucesso. Ela é feita de quarks, que compõem os prótons e nêutrons, léptons como o elétron e o neutrino, e muitas outras partículas. Observe que o modelo resulta em três cópias idênticas de partículas subatômicas. Visto que o Modelo Padrão não leva em conta as gravitações (e parece muito esquisito), os físicos teóricos acham que ele pode não ser a teoria final.

Como o Modelo Padrão parece artificial demais, apesar dos seus surpreendentes sucessos experimentais, os físicos tentaram desenvolver mais uma teoria, ou a teoria de grande unificação (GUT), que coloca quarks e léptons em pé de igualdade. Ela também tratava o glúon, o bóson-W e Z, e o fóton no mesmo nível. (Mas não podia ser a “teoria final” porque a gravitação continuava de fora; era considerada difícil demais para fundir-se com as outras forças, como veremos.)

Por sua vez, este programa de unificação introduziu um novo paradigma na cosmologia. A ideia era simples e elegante; no momento do Big Bang, todas as quatro forças fundamentais se unificaram numa única força coerente, uma misteriosa “superforça”. Todas as quatro forças tinham a mesma intensidade e faziam parte de um todo coerente maior. O universo começou num estado de perfeição. Entretanto, à medida que o universo começou a se expandir e resfriar rapidamente, a superforça original começou a “rachar”, com diferentes forças separando-se uma após a outra.

Segundo esta teoria, o resfriamento do universo depois do Big Bang é análogo ao congelamento da água. A água no seu estado líquido é muito uniforme e plana. Mas, quando congela, formam-se dentro dela milhões de minúsculos cristais de gelo. Congelada, a uniformidade original da água em estado líquido está muito fragmentada, com o gelo contendo rachaduras, bolhas e cristais.

Em outras palavras, hoje vemos que o universo está horrivelmente fragmentado. Ele não é uniforme nem simétrico, mas composto de montanhas pontiagudas, vulcões, furacões, asteroides rochosos e estrelas explodindo, sem nenhuma unidade coerente; e não só isso, também vemos as quatro forças fundamentais sem nenhuma relação umas com as outras. Mas o motivo para o universo estar tão quebrado é que ele é muito velho e frio.

Embora o universo tenha começado num estado de unidade perfeita, hoje já passou por muitas transições de fase, ou mudanças de estado, com as forças do universo desprendendo-se das outras, uma por uma, à medida que resfriavam. É tarefa dos físicos voltar ao passado, reconstruir os passos do universo como ele originalmente começou (num estado de perfeição), que levaram ao universo fragmentado que vemos hoje à nossa volta.

A chave, portanto, é compreender exatamente como estas transições de fase ocorreram no início do universo, que os físicos chamam de “quebra espontânea”. Seja o derretimento do gelo, a fervura da água, a criação de nuvens de chuva ou o resfriamento do Big Bang, as transições de fase podem conectar duas fases totalmente diferentes da matéria. (Para ilustrar como estas transições de fase podem ser poderosas, o artista Bob Miller propôs o enigma: “Como você faria para suspender 225 mil quilos de água no ar sem nenhum meio visível de sustentação? Resposta: construa uma nuvem.”)[1]

O FALSO VÁCUO

Quando uma força se desprende das outras forças, é como se um dique se

rompesse. Os rios descem montanha abaixo porque a água flui na direção da energia mais baixa, que é o nível do mar. O estado de energia mais baixa é chamado de vácuo. Entretanto, existe um estado pouco comum chamado de vácuo falso. Se represarmos um rio, por exemplo, o dique parece ser estável, mas, na verdade, está sob uma pressão enorme. Uma minúscula rachadura, e a pressão pode, de repente, explodir a represa e liberar uma torrente de energia do falso vácuo (o rio represado) e causar uma inundação catastrófica em direção ao vácuo verdadeiro (o nível do mar). Cidades inteiras podem ser inundadas se tivermos uma quebra espontânea do dique e uma súbita transição para o vácuo verdadeiro.

Da mesma forma, na teoria GUT, o universo originalmente começou num estado de vácuo falso, com as três forças unificadas numa única força. Entretanto, a teoria era instável e espontaneamente ela se rompeu e fez a transição do falso vácuo, onde as forças estavam unificadas, para o verdadeiro vácuo, onde as forças estavam rompidas.

Isto já se sabia quando Guth começou a analisar a teoria GUT. Mas Guth notou algo que os outros não tinham visto. No estado do vácuo falso, o universo se expande exponencialmente, como De Sitter havia previsto em 1917. É a constante cosmológica, a energia do vácuo falso, que faz o universo se expandir com tamanha velocidade. Guth se fez uma pergunta decisiva: esta expansão exponencial de De Sitter pode solucionar alguns dos problemas da cosmologia?

O PROBLEMA DO MONOPOLO

Uma previsão das muitas teorias GUT foi a produção abundante de monopolos no início dos tempos. Um monopolo é um único polo magnético norte ou sul. Na natureza, estes polos são sempre encontrados aos pares. Se você pegar um ímã, invariavelmente encontrará um polo norte e um polo sul unidos. Se pegar um martelo e dividir o ímã ao meio, não ficará com dois monopolos, e sim com dois ímãs menores, cada um com o seu próprio par de polos norte e sul.

O problema, entretanto, era que os cientistas, depois de séculos de experiências, não tinham encontrado nenhuma evidência conclusiva para os monopolos. Como ninguém jamais vira um monopolo, Guth ficou intrigado com o fato de a teoria GUT prever tantos. “Como o unicórnio, o monopolo continua a fascinar a mente humana, apesar da ausência de observações confirmadas”,[2] Guth comentou.

Mas aí, de repente, ele entendeu. Num relâmpago, todas as peças se

encaixavam. Ele percebeu que, se o universo começou num estado de vácuo falso, poderia se expandir exponencialmente, como De Sitter havia sugerido décadas antes. Neste estado de falso vácuo, o universo poderia inflar subitamente numa proporção incrível, diluindo, portanto, a densidade dos monopolos. Se os cientistas nunca tinham visto um monopolo, era só porque os monopolos se espalharam por um universo que era muito maior do que se pensava.

Para Guth, esta revelação foi uma surpresa e uma alegria. Uma observação tão simples era capaz de explicar o problema do monopolo de uma só tacada. Mas Guth percebeu que esta previsão teria implicações cosmológicas muito além da sua ideia original.

O PROBLEMA DO ACHATAMENTO

Guth concluiu que sua teoria solucionava outro problema, o do achatamento, discutido antes. A descrição padronizada do Big Bang não podia explicar por que o universo era tão achatado. Na década de 1970, acreditava-se que a densidade de matéria no universo, chamada Ômega, era mais ou menos 0,1. O fato de que isto ficava relativamente próximo da densidade crítica de 1,0, tantos bilhões de anos depois do Big Bang, era profundamente perturbador. À medida que o universo se expandiu, Ômega deveria ter mudado com o passar do tempo. Este número estava incomodamente próximo do valor de 1,0, que descreve um espaço perfeitamente chato.

Para qualquer valor razoável de Ômega no início dos tempos, as equações de Einstein mostram que ele hoje deveria ser quase 0. Só por um milagre, Ômega poderia estar tão próximo de 1 tantos bilhões de anos depois do Big Bang. Isto é o que se chama em cosmologia de problema da sintonia fina. Deus, ou algum criador, teve de “escolher” o valor de Ômega com uma precisão fantástica para Ômega estar hoje por volta de 0,1. Se Ômega está hoje entre 0,1 e 10, isto significa que Ômega tinha de ser 1,00000000000000 um segundo depois do Big Bang. Em outras palavras, no início dos tempos, o valor de Ômega teve de ser “escolhido” para ser igual ao número 1 com uma precisão de uma parte em 100 trilhões, o que é difícil de compreender.

Imagine tentar equilibrar um lápis na vertical sobre a sua ponta. Por mais que tentemos, ele costuma cair. De fato, é necessário uma sintonia fina de grande precisão para colocar logo de início o lápis equilibrado de modo a não cair. Agora tente equilibrar o lápis sobre a sua ponta de modo a ficar na vertical não

apenas por um segundo, mas durante anos! Você vê a enorme sintonia fina atuando para conseguir que Ômega seja 0,1 hoje. O mais leve erro ao sintonizar Ômega teria criado um Ômega muitíssimo diferente de 1. Então, por que hoje Ômega está tão próximo de 1, quando, de fato, deveria ser astronomicamente diferente?

Para Guth, a resposta era óbvia. O universo simplesmente inflou tanto que achatou o universo. Como uma pessoa que supõe que a Terra é achatada porque ela não pode ver o horizonte, os astrônomos concluíram que Ômega é mais ou menos 1 porque a inflação achatou o universo.

[O PROBLEMA DO HORIZONTE]

A inflação não explicava apenas os dados que provavam o achatamento do universo, ela também solucionava o problema do horizonte. Este problema baseia-se na simples percepção de que o céu noturno parece ser relativamente uniforme, não importa para onde você olhar. Se você virar a cabeça de 180 graus, observará que o universo é uniforme, apesar de você ter visto partes do universo separadas por 10 bilhões de anos-luz. Telescópios potentes vasculhando os céus também não encontram nenhum desvio apreciável desta uniformidade. Nossos satélites espaciais mostraram que a radiação cósmica de fundo também é extremamente uniforme. Não importa para onde você olhe no espaço, a temperatura da radiação de fundo não desvia mais do que um milionésimo de grau.

Mas isto é um problema, porque a velocidade da luz é o limite de velocidade máxima no universo. Não há como, no tempo de vida do universo, a luz ou informações poderem ter viajado de uma parte do céu noturno para o outro lado. Por exemplo, se olharmos para a radiação de microondas numa direção, ela viajou mais de 13 bilhões de anos desde o Big Bang. Se voltarmos a cabeça na direção oposta, veremos radiação de microondas idênticas que também viajaram mais de 13 bilhões de anos. Visto estarem na mesma temperatura, devem ter estado em contato térmico no início dos tempos. Mas não há como essas informações terem viajado de pontos opostos no céu noturno (separadas por mais de 26 bilhões de anos-luz) desde o Big Bang.

A situação piora ainda mais se olharmos para o céu 380 mil anos depois do Big Bang, quando a radiação de fundo se formou. Se procurarmos em pontos opostos no céu, veremos que a radiação de fundo é quase uniforme. Mas, segundo os cálculos da teoria do Big Bang, estes pontos opostos estão separados

por 90 milhões de anos-luz (por causa da expansão do espaço desde a explosão). Mas esta luz não pode ter viajado 90 milhões de anos-luz em apenas 380 mil anos. As informações teriam de ter viajado muito mais rápido do que a velocidade da luz, o que é impossível.

De fato, o universo deveria parecer bastante encaroçado, com uma parte distante demais para fazer contato com outra parte. Como o universo pode parecer tão uniforme, quando a luz simplesmente não teve tempo suficiente para misturar e espalhar informações de uma parte distante do universo para outra? (O físico de Princeton, Robert Dicke, chamou a isto de problema do horizonte, visto que o horizonte é o ponto mais distante que você pode ver, o ponto mais distante até onde a luz pode viajar.)

Mas Guth percebeu que a inflação era a chave para este problema também. Ele argumentou que o nosso universo visível era provavelmente uma área minúscula na bola de fogo original. A área em si era uniforme em densidade e temperatura. Mas a inflação de repente expandiu este pedacinho de matéria uniforme 10^{50} vezes, muito mais rápido do que a velocidade da luz, de modo que o universo visível hoje é extraordinariamente uniforme. Por isso, o motivo de o céu noturno e a radiação de microondas serem tão uniformes é que o universo visível foi um dia um pedaço minúsculo, mas uniforme, da bola de fogo original que subitamente inflou, tornando-se o universo.

REAÇÃO À INFLAÇÃO

Embora Guth estivesse confiante de que a teoria inflacionária estava correta, ele ficou um tanto nervoso quando começou a dar palestras publicamente. Ao apresentar a sua teoria em 1980: “Eu ainda estava preocupado que algumas deduções lógicas da teoria pudessem estar espetacularmente erradas. Havia ainda o medo de revelar a minha condição de cosmólogo principiante”,[3] ele confessou. Mas a sua teoria era tão elegante e eficaz que os físicos do mundo inteiro viram logo a sua importância. O prêmio Nobel Murray Gell-Mann exclamou: “Você solucionou o problema mais importante da cosmologia!” O prêmio Nobel Sheldon Glashow confidenciou a Guth que Steven Weinberg ficou “furioso” quando ouviu falar de inflação. Ansioso, Guth perguntou: “Steve fez alguma objeção?” Glashow respondeu: “Não, ele só não pensou nisso antes.”[4] Como eles puderam não ter visto uma solução tão simples?, os cientistas se perguntavam. A recepção da teoria de Guth foi entusiástica entre os físicos teóricos, que ficaram boquiabertos com o seu alcance.

Ela também causou impacto nas perspectivas de emprego para Guth. Um dia, por causa do mercado de trabalho muito fechado, ele se viu desempregado. “Eu estava numa situação marginal no mercado de trabalho”, confessou ele. De repente, as ofertas começaram a jorrar das melhores universidades, mas não da que era de sua preferência, o MIT. Mas ele leu num biscoitinho da sorte que “Uma excelente oportunidade o aguarda, se você não for tímido demais”. Isto lhe deu coragem para telefonar para o MIT e pedir um emprego. Ficou pasmo quando retornaram a ligação dias depois e lhe ofereceram uma cadeira de professor titular. O biscoitinho da sorte que ele leu em seguida dizia “Você não deve agir por impulso”. Ignorando o conselho, ele decidiu aceitar o cargo no MIT. “O que um biscoito da sorte chinês sabe, afinal de contas?”, ele se perguntou.[5]

Mas ainda havia problemas sérios. Os astrônomos ficaram menos impressionados com a teoria de Guth, visto que possuía uma falha fulgurante: dava a previsão errada para Ômega. O fato de Ômega estar mais ou menos perto de 1 podia ser explicado pela inflação. Entretanto, a inflação foi muito mais adiante e previu que Ômega (ou Ômega mais Lambda) deveria ser exatamente 1,0, correspondente a um universo achatado. Nos anos seguintes, à medida que mais e mais dados foram sendo coletados, localizando enormes quantidades de matéria escura no universo, Ômega moveu-se ligeiramente, subindo para 0,3. Mas isto ainda era potencialmente fatal para a inflação. Embora entre os físicos a inflação gerasse mais de 3 mil artigos científicos na década seguinte, ela continuava sendo uma curiosidade para os astrônomos. Para eles, os dados pareciam excluir a inflação.

Alguns astrônomos queixavam-se entre si de que os físicos de partículas eram tão obcecados com a beleza da inflação que estavam dispostos a ignorar fatos experimentais. (O astrônomo Robert Kirshner, de Harvard, escreveu: “Esta ideia de inflação parece loucura. O fato de ser levada a sério por gente de autoridade não a torna automaticamente correta.”[6] Roger Penrose, de Oxford, chamou a inflação de “um estilo que os físicos de alta energia impuseram aos cosmólogos... Até porcos-da-terra acham os seus filhotes lindos”.)[7]

Guth acreditava que mais cedo ou mais tarde os dados mostrariam que o universo era achatado. Mas o que o incomodava era que o seu quadro original tinha um pequeno defeito, porém crucial, que até hoje ainda não se compreende bem. A inflação, teoricamente, servia para solucionar uma série de problemas cosmológicos graves. O problema era que ele não sabia como desligar a inflação.

Imagine aquecer uma panela de água até o seu ponto de ebulição. Um pouquinho antes de ferver, ela está momentaneamente no estado de alta energia.

Ela quer ferver, mas não pode porque precisa de alguma impureza para começar uma bolha. Mas, assim que aparece uma bolha, a água rapidamente entra num estado de energia abaixo do verdadeiro vácuo, e a panela se enche de bolhas. No final, as bolhas ficam tão grandes que se aglutinam, até a panela ficar uniformemente cheia de vapor. Quando todas a bolhas desaparecem, a fase de transição da água para o vapor está completa.

No quadro original de Guth, cada bolha representava um pedaço do nosso universo que estava inflando a partir do vácuo. Mas, ao fazer este cálculo, Guth descobriu que as bolhas não se aglutinavam da forma adequada, deixando o universo incrivelmente granuloso. Em outras palavras, a sua teoria deixava a panela cheia de bolhas que nunca se fundiam direito para se tornar uma panela uniforme de vapor. A bacia de água fervendo de Guth nunca parecia se acalmar no universo atual.

Em 1981, Andrei Linde, do Instituto P. N. Lebedev, na Rússia, e Paul J. Steinhardt e Andreas Albrecht, na época na Universidade da Pensilvânia, descobriram um jeito de contornar este enigma, percebendo que, se uma única bolha de vácuo falso inflasse por tempo suficiente, ela acabaria enchendo toda a panela e criando um universo uniforme. Em outras palavras, todo o nosso mundo seria um subproduto de uma única bolha que inflou até encher o universo. Você não precisaria que uma grande quantidade de bolhas se aglutinassem para criar uma panela uniforme de vapor. Uma única bolha bastava, se ela inflasse por tempo suficiente.

Pense de novo na analogia do dique e do vácuo falso. Quanto mais espesso o dique, mais tempo a água leva para tunelá-lo. Se a parede do dique é grossa o suficiente, então o tunelamento será arbitrariamente mais demorada. Se o universo puder inflar 10^{50} mais, então uma única bolha terá tempo suficiente para solucionar o problema do horizonte, do achatamento e do monopolo. Ou seja, se o tunelamento é suficientemente demorado, o universo infla por um tempo que dá para achatar e diluir os monopolos. Mas isto ainda deixa uma pergunta: que mecanismo é capaz de prolongar a inflação tanto assim?

No final, este problema complicado acabou sendo conhecido como “o problema da saída elegante”, isso é, como inflar o universo durante tempo suficiente para que uma única bolha possa criar todo o universo. Durante anos, pelo menos cinquenta mecanismos diferentes foram propostos para solucionar o problema da saída elegante. (Este é um problema enganosamente difícil. Eu mesmo tentei várias soluções. Era relativamente fácil gerar uma modesta quantidade de inflação no início do universo. Mas o dificílimo é fazer o universo inflar 10^{50} vezes. É claro, pode-se simplesmente fazer este cálculo à mão, mas

isto é artificial.) Explicando melhor, acreditava-se que o processo de inflação solucionasse os problemas de monopolo, de horizonte e do achatamento, mas ninguém sabia exatamente o que provocou a inflação e o que a interrompeu.

INFLAÇÃO CAÓTICA E UNIVERSOS PARALELOS

O físico Andrei Linde, por exemplo, não se perturbou com o fato de ninguém concordar com uma solução para o problema da saída elegante. Linde confessou: “Eu só achei que era impossível que Deus não usasse uma possibilidade tão boa para simplificar o trabalho dele.”[8]

No final, Linde propôs uma nova versão de inflação que parecia eliminar alguns dos defeitos das primeiras versões. Ele imaginou um universo no qual ocorrem quebras espontâneas em pontos aleatórios no espaço e tempo. Em cada ponto onde ocorre a quebra, é criado um universo que infla um pouco. Na maioria das vezes, a quantidade de inflação é insignificante. Mas, como este processo é aleatório, vai acabar existindo uma bolha onde a inflação dura tempo suficiente para criar o nosso universo. Considerando-se a sua conclusão lógica, isto significa que a inflação é contínua e eterna, com Big Bangs acontecendo o tempo todo, com universos brotando de outros universos. Neste quadro, universos podem “germinar” outros universos, criando um “multiverso”.

Nesta teoria, a quebra espontânea pode ocorrer em qualquer lugar dentro do nosso universo, fazendo com que todo um universo brote do nosso universo. Isso também quer dizer que o nosso próprio universo pode ter brotado de um universo anterior. No modelo inflacionário caótico, o multiverso é eterno, mesmo que universos individuais não o sejam. Alguns universos podem ter um Ômega muito grande e, neste caso, eles desaparecem imediatamente numa grande implosão depois do seu Big Bang. Alguns universos têm apenas um minúsculo Ômega e se expandem para sempre. No final, o multiverso se torna dominado por esses universos que inflam em grande quantidade.

Fazendo uma retrospectiva, a ideia de universos paralelos nos é imposta. A inflação representa a fusão de cosmologia tradicional com avanços na física de partículas. Sendo uma teoria quântica, a física de partículas afirma que existe uma probabilidade finita de que ocorram coisas improváveis, como a criação de universos paralelos. Assim, tão logo reconheçamos a possibilidade de criação de um universo, abrimos a porta para a probabilidade da criação de um número infindável de universos paralelos. Pense, por exemplo, em como o elétron é descrito na teoria quântica. Devido à incerteza, o elétron não existe em nenhum

ponto isolado, mas existe em todos os pontos possíveis ao redor do núcleo. Esta "nuvem" de elétrons que cerca o núcleo representa o elétron em muitos lugares ao mesmo tempo. Esta é a base fundamental de toda a química, que admite que elétrons unam as moléculas. A razão pela qual as nossas moléculas não se dissolvem é que os elétrons paralelos dançam ao redor delas e as mantêm unidas. Da mesma forma, o universo foi um dia menor do que um elétron. Quando aplicamos a teoria quântica ao universo, somos então forçados a admitir a possibilidade de que o universo existe simultaneamente em muitos estados. Em outras palavras, uma vez tendo aberto a porta para aplicar as flutuações quânticas ao universo, somos quase que forçados a admitir a possibilidade de universos paralelos. Parece que não temos outra escolha.

O UNIVERSO A PARTIR DO NADA

De início, poderíamos recusar a ideia de um multiverso, porque parece violar leis conhecidas, como a da conservação de matéria e energia. Entretanto, o conteúdo total de matéria/energia de um universo, na verdade, pode ser muito pequeno. O conteúdo de matéria do universo, incluindo todas as estrelas, planetas e galáxias, é imenso e positivo. Entretanto, a energia armazenada dentro da gravitação pode ser negativa. Se você somar a energia positiva devido à matéria com a energia negativa devido à gravidade, o resultado pode chegar perto de zero! Em certo sentido, *esses universos não custam nada*. Eles podem brotar do vácuo quase sem nenhum esforço. (Se o universo é fechado, então o conteúdo total de energia do universo deve ser exatamente zero.)

(Para entender isto, imagine um burro que cai dentro de um buraco grande no chão. Temos de adicionar energia ao burro para tirá-lo do buraco. Uma vez do lado de fora e de pé no chão, considera-se que ele tem energia zero. Assim, como tivemos de acrescentar energia ao burro para levá-lo a um estado de energia zero, ele deve ter tido energia negativa enquanto estava no buraco. Do mesmo modo, é preciso energia para puxar um planeta para fora do sistema solar. Uma vez no espaço livre, o planeta tem energia zero. Visto que temos de acrescentar energia para extrair um planeta do sistema solar para que ele alcance um estado de energia zero, o planeta tem energia gravitacional negativa enquanto está dentro do sistema solar.)

De fato, para criar um universo como o nosso pode ser necessária uma quantidade total ridiculamente pequena de matéria, talvez uns 28 gramas. Como Guth gosta de dizer, "o universo talvez saia de graça". Esta ideia de criar um

universo do nada foi introduzida pela primeira vez pelo físico Edward Tryon, do Hunter College, da City University, de Nova York, num artigo publicado na revista *Nature*, em 1973. Ele especulou que o universo é algo “que acontece de tempos em tempos”, devido a uma flutuação quântica no vácuo. (Embora a quantidade total de matéria negativa para criar um universo possa estar perto de zero, esta matéria deve ser comprimida a densidades incríveis, como veremos no Capítulo 12.)

Como nas mitologias de P’an Ku, este é um exemplo de cosmologia *creatio ex nihilo*. Embora a teoria do universo-surgindo-do-nada não possa ser provada por meios convencionais, ela ajuda a responder questões muito práticas sobre o universo. Por exemplo, por que o universo não tem rotação? Tudo que vemos a nossa volta gira, de piões, furacões, planetas e galáxias, até quasares. Parece ser uma característica universal da matéria no universo. Mas o universo mesmo não gira. Quando olhamos as galáxias no céu, a sua rotação total se cancela dando zero. (Isto é uma sorte, porque, como veremos no Capítulo 5, se o universo girasse, então viagens do tempo seriam comuns e a história, impossível de ser escrita.) O universo não tem rotação talvez porque o nosso universo veio do nada. Visto que o vácuo não tem rotação, não esperamos ver nenhuma rotação líquida surgindo no nosso universo. Na verdade, todos os universos-bolhas dentro do multiverso talvez tenham rotação zero.

Por que cargas elétricas negativas e positivas se equilibram exatamente? Em geral, quando pensamos nas forças cósmicas que regem o universo, pensamos mais em gravitação do que em força eletromagnética, mesmo que a força gravitacional seja infinitesimalmente pequena comparada com a força eletromagnética. A razão disto é o equilíbrio perfeito entre cargas positivas e negativas. Consequentemente, a carga líquida do universo parece ser zero, e a gravidade é que domina o universo, não a força eletromagnética.

Embora aceitemos isso naturalmente,[9] o cancelamento de cargas positivas e negativas é bastante notável e tem sido testado por experimentos na razão de um para 10^{21}. (É claro que existem desequilíbrios locais entre as cargas, e é por isso que temos relâmpagos. Mas o número total de cargas, mesmo nas tempestades com raios e trovoadas, soma a zero.) Se houvesse apenas 0,00001 por cento de diferença no total das cargas elétricas positiva e negativa dentro do seu corpo, você seria estraçalhado instantaneamente, com pedaços do seu corpo lançados no espaço cósmico pela força elétrica.

A resposta para esses enigmas persistentes talvez seja a de que o universo veio do nada. Visto que o vácuo tem carga e rotação líquidas iguais a zero, qualquer universo bebê que surja do nada talvez deva ter carga e rotação nulas.

Existe uma exceção aparente a esta regra.[10] É a de que o universo é feito de matéria e não de antimatéria. Visto que matéria e antimatéria são opostos (com a antimatéria tendo exatamente a carga oposta da matéria), podemos supor que o Big Bang deve ter criado quantidades iguais de matéria e de antimatéria. O problema, entretanto, é que matéria e antimatéria se aniquilarão mutuamente quando em contato, com uma explosão de raios gama. Assim, não deveríamos existir. O universo seria uma coleção aleatória de raios gama em vez de fervilhar de matéria comum. Se o Big Bang fosse perfeitamente simétrico (ou se ele viesse do nada), então deveríamos esperar que se formassem quantidades iguais de matéria e antimatéria. Então, por que nós existimos? A solução proposta pelo físico russo Andrei Sakharov é de que o Big Bang original não foi perfeitamente simétrico. Houve uma minúscula quantidade de quebra de simetria entre matéria e antimatéria no instante da criação, de modo que a matéria dominou a antimatéria, o que tornou possível o universo que vemos a nossa volta. (A simetria que foi quebrada no Big Bang chama-se simetria CP, a simetria que inverte cargas e a paridade de partículas de matéria e antimatéria.) Se o universo veio do "nada", então talvez o nada não estivesse totalmente vazio, mas com uma ligeira quantidade de quebra de simetria, que permite uma leve predominância de matéria sobre antimatéria hoje. Ainda não se sabe a origem desta quebra de simetria.

COMO SERIAM OS OUTROS UNIVERSOS?

A ideia de multiverso é atraente, porque bastaria supormos que a quebra espontânea ocorre aleatoriamente. Não seria necessária nenhuma outra hipótese. Sempre que um universo gera outro universo, as constantes físicas diferem do original, criando novas leis da física. Se isto é verdade, então uma realidade totalmente nova pode emergir dentro de cada universo. Mas isto levanta a intrigante questão: como seriam estes outros universos? A chave para compreender a física de universos paralelos é entender como são criados os universos, isto é, saber exatamente como ocorre a quebra espontânea.

Quando um universo nasce e se dá a quebra espontânea, isto também quebra a simetria da teoria original. Para um físico, beleza significa simetria e simplicidade. Se uma teoria é bela, isto quer dizer que tem uma simetria eficiente capaz de explicar uma grande quantidade de dados da maneira mais compacta e econômica. Mais precisamente, uma equação é considerada bela se permanecer a mesma quando intercambiamos os seus componentes. A grande

vantagem de encontrar simetrias ocultas na natureza é que podemos mostrar que fenômenos que aparentemente são distintos, na verdade, são manifestações da mesma coisa, ligados por uma simetria. Por exemplo, podemos mostrar que eletricidade e magnetismo são, na realidade, dois aspectos do mesmo objeto, pois existe uma simetria capaz de intercambiá-los dentro das equações de Maxwell. Da mesma forma, Einstein mostrou que a relatividade pode transformar espaço em tempo e vice-versa, porque são parte do mesmo objeto, o tecido de espaço-tempo.

Imagine um floco de neve, que tem uma bela simetria hexagonal, uma fonte de fascínio infindável. A essência da sua beleza é que ela permanece a mesma se girarmos o floco de neve 60 graus. Isto também significa que qualquer equação que escrevamos para descrever o floco de neve deve refletir este fato: que ele permanece invariante sob rotações de múltiplos de 60 graus. Matematicamente, dizemos que o floco de neve tem simetria C_6.

As simetrias, portanto, codificam a beleza oculta da natureza. Mas, na realidade, hoje estas simetrias estão quebradas de um modo horroroso. As quatro grandes forças do universo não se parecem nada umas com as outras. Na verdade, o universo está cheio de irregularidades e defeitos; à nossa volta estão os fragmentos e estilhaços da simetria original, primordial, despedaçada pelo Big Bang. Por conseguinte, a chave para compreender possíveis universos paralelos é compreender a “quebra da simetria” – isto é, como estas simetrias podem ter se rompido depois do Big Bang. Como disse o físico David Gross: “O segredo da natureza é a simetria, mas grande parte da textura do mundo se deve a mecanismos de quebra de simetria.”[11]

Pense em como um belo espelho se estilhaça em milhares de fragmentos. O espelho original possuía uma grande simetria. Você pode girá-lo em qualquer ângulo que ele continua refletindo a luz da mesma forma. Mas, depois de estilhaçado, a simetria original está quebrada. Ao determinarmos exatamente como a simetria se rompe, determinamos como o espelho se estilhaça.

A QUEBRA DE SIMETRIA

Para ver isto, imagine o desenvolvimento de um embrião. No seu estágio inicial, dias depois da concepção, um embrião consiste de uma esfera perfeita de células. Uma célula não é diferente da outra. Parece a mesma, não importa para que lado a giremos. Os físicos dizem que o embrião neste estágio tem simetria $0(_3)$ – isto é, permanece o mesmo, não importa como o giremos em qualquer de seus eixos.

Embora o embrião seja belo e elegante, ele é também bastante inútil. Sendo uma esfera perfeita, não pode realizar nenhuma função útil ou interagir com o ambiente. Com o tempo, entretanto, o embrião quebra esta simetria, desenvolvendo uma cabeça e um torso minúsculos, de modo a se parecer com um pino de boliche. Embora a simetria esférica original agora esteja rompida, o embrião ainda tem uma simetria residual; ele continua o mesmo se o girarmos sobre o seu eixo. Assim, ele tem simetria cilíndrica. Matematicamente, dizemos que o $0(_3)$ original da esfera agora foi quebrado para a simetria $0(_2)$ do cilindro.

A quebra da simetria $0(_3)$, entretanto, poderia ter se dado de outro modo. As estrelas-do-mar, por exemplo, não têm simetria cilíndrica ou bilateral; pelo contrário, quando a simetria esférica é rompida, elas têm uma simetria C_5 (que permanece a mesma sob rotações de 72 graus), o que confere seu formato de estrela de cinco pontas. Assim, o modo como a simetria $0(_3)$ se rompe determina a forma do organismo quando ele nasce.

Similarmente, os cientistas acreditam que o universo começou num estado de simetria perfeita, com todas as forças unificadas numa só. O universo era belo, simétrico, mas um tanto inútil. A vida que conhecemos não pode existir neste estado de perfeição. Para existir a possibilidade de vida, a simetria do universo teve de ser quebrada ao resfriar.

A SIMETRIA E O MODELO PADRÃO

Do mesmo modo, para compreender como seriam os universos paralelos, devemos primeiro compreender as simetrias das interações forte, fraca e eletromagnética. A força forte, por exemplo, baseia-se em três quarks, que os cientistas rotulam dando-lhes uma “cor” fictícia (por exemplo, vermelho, branco e azul). Queremos que as equações permaneçam as mesmas se intercambiarmos esses três quarks coloridos. Dizemos que as equações têm simetria SU $(_3)$, isto é, quando misturamos os três quarks, as equações continuam as mesmas. Os cientistas acreditam que a teoria com simetria SU $(_3)$ é a descrição mais precisa das interações fortes (chamada Cromodinâmica Quântica). Se tivéssemos um supercomputador gigantesco, começando apenas com as massas dos quarks e a força de suas interações, poderíamos, em teoria, calcular todas as propriedades do próton e do nêutron e todas as características da física nuclear.

Do mesmo modo, digamos que temos dois léptons, o elétron e o neutrino. Se os intercambiarmos numa equação, teremos uma simetria SU $(_2)$. Podemos

também inserir a luz, que tem o grupo de simetria $U(_1)$. (Este grupo de simetria embaralha os vários componentes ou polarizações da luz.) Assim, o grupo de simetria das interações fraca e eletromagnética é $SU(_2) \times U(_1)$.

Se nós simplesmente juntarmos essas três teorias numa só, teremos, sem nenhuma surpresa, a simetria $SU(_3) \times SU(_2) \times U(_1)$. Em outras palavras, a simetria separadamente mistura três quarks entre si e dois léptons entre si (mas não mistura quarks com léptons). A teoria resultante é o Modelo Padrão, que, como vimos antes, é talvez uma das teorias mais bem-sucedidas de todos os tempos. Como diz Gordon Kane, da Universidade de Michigan: "Tudo que acontece no nosso mundo (exceto os efeitos da gravitação) resulta de interações de partículas do Modelo Padrão."[12] Algumas das suas previsões foram testadas no laboratório, com uma precisão de uma parte em 100 milhões. (Vinte prêmios Nobel foram concedidos a físicos que reuniram as partes do Modelo Padrão.)

Finalmente, seria possível formular uma teoria que combine a interação forte, fraca e eletromagnética numa única simetria. A teoria GUT mais simples capaz de fazer isto intercambia todas as cinco partículas (três quarks e dois léptons) ao mesmo tempo. Ao contrário da simetria do Modelo Padrão, a simetria GUT pode misturar quarks com léptons (o que significa que prótons podem decair em elétrons). Em outras palavras, as teorias GUT contêm simetria $SU(_5)$ (misturando todas as cinco partículas – três quarks e dois léptons – entre elas.) Com o passar dos anos, muitos outros grupos de simetria foram analisados, mas o $SU(_5)$ é talvez o menor grupo que se ajusta aos dados experimentais.

Quando ocorre a quebra espontânea, a simetria GUT original pode se romper de várias maneiras. Numa delas, a simetria GUT é quebrada em $SU(_3) \times SU(_2) \times U(_1)$ com exatamente dezenove parâmetros livres de que precisamos para descrever o nosso universo. Isto nos dá o universo conhecido. Mas, na verdade, há muitas maneiras de quebrar a simetria. Outros universos poderiam muito bem ter uma simetria residual totalmente diferente. No mínimo, estes universos paralelos teriam valores diferentes para estes dezenove parâmetros. Em outras palavras, as intensidades das várias forças seriam diferentes em universos diferentes, originando enormes mudanças na estrutura do universo. Ao enfraquecer a energia da força nuclear, por exemplo, seria possível impedir a formação de estrelas, deixando o universo em perpétua escuridão, tornando a vida impossível. Se a força nuclear é reforçada demais, as estrelas podem queimar o seu combustível nuclear tão rápido que a vida não teria tempo de se formar.

O grupo de simetria pode também ter mudado, criando um universo de

partículas totalmente diferente. Em alguns destes universos, o próton pode não ser estável e rapidamente decairia em antielétrons. Esses universos não poderiam ter a vida que conhecemos, mas rapidamente se desintegrariam numa névoa inerte de elétrons e neutrinos. Outros universos poderiam quebrar a simetria GUT de um outro modo ainda, e então haveria partículas mais estáveis, como prótons. Num universo assim, uma imensa variedade de novos e estranhos elementos químicos existiria. A vida nesses universos poderia ser mais complexa do que no nosso, com mais elementos químicos a partir dos quais seriam criadas substâncias químicas semelhantes ao DNA.

Podemos também quebrar a simetria original GUT de modo a ter mais de uma simetria $U(_1)$, então haverá mais de uma forma de luz. Este seria um universo estranho, realmente, no qual os seres poderiam "ver" usando não apenas um tipo de força, mas várias. Nesse universo, os olhos de qualquer ser vivo seriam uma grande variedade de receptores para detectar várias formas de radiações semelhantes à luz.

Obviamente, há centenas, talvez até um número infinito de modos de quebrar estas simetrias. Cada uma destas soluções, por sua vez, pode corresponder a um universo totalmente distinto.

PREVISÕES TESTÁVEIS

Infelizmente, a possibilidade de testar a teoria do multiverso, envolvendo universos múltiplos com diferentes conjuntos de leis físicas é, no presente, impossível. Seria preciso viajar mais rápido do que a luz para chegar a estes outros universos. Mas uma vantagem da teoria da inflação é que ela faz previsões sobre a natureza do nosso universo que *são* testáveis.

Visto que a teoria inflacionária é uma teoria quântica, ela se baseia no princípio da incerteza de Heisenberg. (O princípio da incerteza diz que você não pode fazer medidas com precisão infinita, tais como medir a velocidade e posição de um elétron. Não importa a sensibilidade dos seus instrumentos, haverá sempre uma incerteza nas suas medições. Se você conhece a velocidade de um elétron, não pode saber a sua localização exata; se sabe a sua localização, não pode saber a sua velocidade.) Aplicado à bola de fogo original que disparou o Big Bang, isso significa que a explosão cósmica original não poderia ter sido infinitamente "suave". (Se tivesse sido perfeitamente uniforme, então conheceríamos exatamente as trajetórias das partículas subatômicas que emanaram do Big Bang, o que contraria o princípio da incerteza.) A teoria

quântica nos permite calcular o tamanho destas ondulações, ou flutuações, na bola de fogo original. Se nós então inflarmos estas minúsculas ondulações quânticas, podemos calcular o número mínimo de ondulações que deveríamos ver no fundo de microondas 380 mil anos depois do Big Bang. (E, se expandirmos as ondulações até o presente, deveríamos, encontrar a atual distribuição de aglomerados galáticos. A nossa própria galáxia começou numa destas minúsculas flutuações.)

De início, um exame superficial dos dados do satélite COBE não encontrou nenhum desvio ou flutuação no fundo de microondas. Isto gerou uma certa ansiedade entre os físicos, porque um fundo de microondas perfeitamente regular não apenas seria contrário à teoria da inflação, como contrariava toda a teoria quântica também, infringindo o princípio da incerteza. Abalaria a física até o seu cerne. Todos os fundamentos da física quântica do século XX teriam de ser jogados fora.

Para alívio dos cientistas, um olhar bastante minucioso nos dados do satélite COBE, aprimorados por computador, revelou um conjunto desfocado de ondulações, variações na temperatura de 1 para 100 mil – o desvio mínimo aceito pela teoria quântica. Estas ondulações infinitesimais eram coerentes com a teoria inflacionária. Guth confessou: “Estou totalmente deslumbrado com a radiação cósmica de fundo. O sinal era tão fraco que só foi detectado em 1965, e, agora, eles estão medindo flutuações de 1 para 100 mil.”[13]

Embora a evidência experimental reunida fosse pouco a pouco favorecendo a inflação, os cientistas ainda tinham de resolver o importuno problema do valor de Ômega – o fato de que Ômega era 0,3 e não 1,0.

SUPERNOVAS – A VOLTA DE LAMBDA

Enquanto a inflação se revelava coerente com os dados do COBE que os cientistas recolheram, na década de 1990 os astrônomos ainda reclamavam que a inflação era uma flagrante violação dos dados experimentais sobre Ômega. A maré começou a virar em 1998, resultante de dados que vinham de uma direção totalmente inesperada. Os astrônomos tentaram recalcular a taxa de expansão do universo no passado distante. Em vez de analisarem as variáveis Cefeidas, como Hubble fez na década de 1920, eles começaram a examinar supernovas em galáxias distantes bilhões de anos-luz no passado. Em particular, eles examinaram supernovas do tipo Ia, que são teoricamente adequadas para o uso como velas padrão.

Os astrônomos sabem que supernovas deste tipo têm quase a mesma luminosidade. (A luminosidade das supernovas do tipo Ia é tão bem conhecida que até pequenos desvios podem ser calibrados: quanto mais luminosa a supernova, mais lentamente ela decresce em luminosidade.) Essas supernovas nascem quando uma estrela anã branca num sistema binário lentamente suga matéria da sua estrela companheira. Ao nutrir-se da sua estrela irmã, esta anã branca vai crescendo em massa até pesar 1,4 massas solares, o máximo possível para uma anã branca. Quando excedem este limite, entram em colapso e explodem num tipo de supernova Ia. Este gatilho detonador é o que explica as supernovas do tipo Ia serem de luminosidade tão uniforme – é o resultado natural de estrelas anãs brancas alcançando uma massa precisa e, em seguida, colapsando sob a gravidade. (Como Subrahmanyan Chandrasekhar mostrou em 1935, numa estrela anã branca a força da gravidade que esmaga a estrela é equilibrada por uma força, de repulsão entre os elétrons, chamada de pressão de degeneração do elétron. Se uma estrela anã pesa mais de 1,4 massas solares, então a gravidade supera esta força, e a estrela é esmagada, criando a supernova.)[14] Uma vez que as supernovas distantes ocorreram no início do universo, analisando-as, é possível calcular a taxa de expansão do universo bilhões de anos atrás.

Dois grupos de astrônomos independentes (liderados por Saul Perlmutter, do Supernova Cosmology Project, e Brian P. Schmidt, da High-Z Supernova Search Team) esperavam descobrir que o universo, embora ainda em expansão, estivesse gradualmente reduzindo a sua velocidade. Durante várias gerações de astrônomos, isto foi uma profissão de fé, ensinada em todas as aulas de cosmologia: a expansão original estava gradualmente desacelerando.

Depois de analisarem cada uma de cerca de uma dúzia de supernovas, eles descobriram que o universo primordial não estava se expandindo tão rápido como se pensava (isto é, os desvios para o vermelho das supernovas, e, portanto, a sua velocidade, eram menores do que originalmente se suspeitava). Comparando a taxa de expansão do universo primordial com a expansão atual, eles concluíram que, hoje, ela era relativamente maior. Chocados, esses dois grupos chegaram à assombrosa conclusão de que o universo está *acelerando*.

Desanimados, eles viram que era impossível ajustar os dados com qualquer valor de Ômega. A única maneira de fazer os dados se acomodarem na teoria era reintroduzindo Lambda, a energia do vácuo proposta pela primeira vez por Einstein. Além do mais, eles viram que Ômega era superado por um Lambda surpreendentemente grande, que estava fazendo o universo se acelerar numa expansão do tipo de Sitter. Os dois grupos chegaram independentemente a esta surpreendente conclusão, mas hesitavam em publicá-la por causa do forte

preconceito histórico de que o valor de Lambda era zero. Como disse George Jacoby do Kitt's Peak Observatory: "Esse Lambda sempre foi um conceito de gente deslumbrada, e quem cometesse a loucura de dizer que não era zero seria tratado como maluco."[15]

Schmidt lembra: "Eu continuava balançando a cabeça sem acreditar, mas tínhamos conferido tudo... Eu relutava muito em contar para as pessoas, porque realmente achava que íamos ser massacrados."[16] Entretanto, quando os dois grupos publicaram seus resultados em 1998, a montanha de dados reunidos não pôde ser descartada com facilidade. Lambda, o "maior tropeço" de Einstein, que tinha ficado quase esquecido na moderna cosmologia, estava agora ensaiando um retorno memorável depois de noventa anos de obscuridade.

Os físicos estavam pasmos. Edward Witten, do Instituto de Estudos Avançados, em Princeton, disse que era "a mais estranha descoberta experimental desde que estou no campo da física".[17] Quando o valor de Ômega, 0,3, foi acrescentado ao valor de Lambda, 0,7; a soma foi (dentro da margem de erro experimental) igual a 1,0; a previsão da teoria inflacionária. Como um quebra-cabeça sendo montado diante de nossos olhos, os cosmólogos estavam vendo a peça da inflação que faltava. Ela veio do próprio vácuo.

Este resultado foi espetacularmente confirmado pelo satélite WMAP, que mostrou que a energia associada a Lambda, ou energia escura, compõe 73 por cento de toda a matéria e energia no universo, tornando-a a peça dominante do quebra-cabeça.

AS FASES DO UNIVERSO

A maior contribuição do satélite WMAP talvez seja a confiança dos cientistas de que estão no rumo de um "Modelo Padrão" da cosmologia. Embora ainda existam brechas enormes, os astrofísicos estão começando a ver os contornos de uma teoria padrão emergindo dos dados. De acordo com o quadro que estamos montando juntos agora, a evolução do universo se deu em fases distintas à medida que esfriava. A transição a partir destas fases representa a quebra de uma simetria e a separação de uma força da natureza. Estes são as fases e os fatos marcantes que conhecemos hoje:

1. Antes de 10-43 segundos – a era de Planck

Quase nada é certo a respeito da era de Planck. Na energia de Planck (10^{19} bilhões de elétrons-volts), a força gravitacional era tão forte quanto as outras

forças quânticas. Por conseguinte, é provável que as quatro forças do universo estivessem unificadas numa única "superforça". Talvez o universo existisse numa fase perfeita de "nada" ou espaço vazio de dimensão superior. A misteriosa simetria que mistura todas as quatro forças, sem alterar as equações, provavelmente deve ser a "supersimetria" (para uma discussão sobre simetria, ver o Capítulo 7). Por razões desconhecidas, esta misteriosa supersimetria que unificava todas as quatro forças rompeu-se, formando uma minúscula bolha, nosso universo embrionário, talvez em consequência de uma flutuação quântica aleatória. Esta bolha era do tamanho do "comprimento de Planck": 10^{-33} centímetros.

2. 10-43 segundos – a era GUT

A quebra da simetria ocorreu, criando uma bolha que se expandiu rapidamente. À medida que a bolha inflava, as quatro forças fundamentais rapidamente se separaram. A gravitação foi a primeira força a se afastar das outras três, liberando uma onda de choque por todo o universo. A simetria original da superforça foi subdividida numa simetria menor, talvez contendo a simetria GUT SU $(_5)$. As interações restantes, forte, fraca e eletromagnética ainda estavam unificadas por esta simetria GUT. O universo inflou por um fator enorme, talvez 10^{50}, durante esta fase, por razões que ainda não compreendemos bem, fazendo o espaço se expandir astronomicamente mais rápido do que a velocidade da luz. A temperatura era de 10^{33} graus.

3. 10-34 segundos – fim da inflação

A temperatura caiu para 10^{27} graus conforme a força forte se separou das outras duas. (O grupo de simetria GUT subdividiu-se em SU $(_3)$ X SU $(_2)$ X U $(_1)$.) O período inflacionário terminou, permitindo ao universo navegar numa expansão padrão de Friedmann. O universo era uma "sopa" de plasma quente com quarks livres, glúons e léptons. Os quarks livres condensaram-se nos prótons e nêutrons de hoje. Nosso universo ainda era bem pequeno, do tamanho apenas do atual sistema solar. Matéria e antimatéria aniquilaram-se, mas o minúsculo excedente de matéria com relação à antimatéria (um em um bilhão) é a matéria restante que vemos a nossa volta hoje. (Esta é a ordem da energia que esperamos que seja duplicada nos próximos anos pelo acelerador de partículas Large Hadron Collider.)

4. 3 minutos – formam-se os núcleos

As temperaturas caíram o bastante para os núcleos se formarem sem que

fossem despedaçados pelo calor intenso. O hidrogênio fundiu-se no hélio (criando a alta taxa de 75 por cento de hidrogênio/25 por cento de hélio encontrada hoje). Quantidades residuais de lítio foram formadas, mas a fusão de elementos mais pesados parou porque os núcleos com 5 partículas eram instáveis demais. O universo era opaco, com a luz sendo dispersada por elétrons livres. Isto marca o fim da bola de fogo primordial.

5. 380 mil anos – nascem os átomos

A temperatura caiu para 3.000 graus Kelvin. Átomos se formaram à medida que os elétrons se acomodaram em torno dos núcleos sem serem despedaçados pelo calor. Os fótons agora podiam viajar livremente sem serem absorvidos. Esta é a radiação medida pelo COBE e o WMAP. O universo, antes opaco e cheio de plasma, agora ficou transparente. O céu, em vez de branco, agora era negro.

6. 1 bilhão de anos – as estrelas se condensam

A temperatura caiu para 18 graus. Quasares, galáxias e aglomerados galáticos começam a se condensar, em grande parte como um subproduto de minúsculas ondulações quânticas na bola de fogo original. As estrelas começam a “cozinhar” os elementos leves, como carbono, oxigênio e nitrogênio. Estrelas em explosão cuspiam elementos além do ferro nos céus. Esta é a era mais longínqua que o telescópio espacial Hubble é capaz de sondar.

7. 6,5 bilhões de anos – a expansão de W. de Sitter

A expansão de Friedmann gradualmente acabou, e o universo começou a acelerar e a entrar numa fase de aceleração, chamada de expansão de W. de Sitter, impulsionada por uma misteriosa força de antigravidade que ainda não é compreendida.

8. 13,7 bilhões de anos – hoje

O presente. A temperatura caiu para 2,7 graus. Vemos o presente universo de galáxias, estrelas e planetas. O universo continua a acelerar num modo de fuga.

O FUTURO

Embora hoje a teoria da inflação seja aquela capaz de explicar uma variedade ampla de mistérios sobre o universo, isto não prova que esteja correta. (Além disso, recentemente outras teorias rivais foram propostas, conforme veremos no Capítulo 7.) O resultado da supernova precisa ser conferido e reconferido,

levando em consideração fatores como poeira e anomalias na produção de supernovas. A “prova indiscutível” que finalmente confirmaria ou refutaria o cenário inflacionário são as “ondas gravitacionais” produzidas no instante do Big Bang. Essas ondas, como o fundo de microondas, deveriam ainda estar reverberando pelo universo e talvez sejam encontradas por detectores de ondas gravitacionais, como veremos no Capítulo 9. A teoria da inflação faz previsões específicas sobre a natureza destas ondas gravitacionais, e estes detectores de ondas deverão encontrá-las.

Mas uma das previsões mais intrigantes da inflação não pode ser testada diretamente, e é a presença de “universos bebês” existindo num multiverso de universos, cada um obedecendo a um conjunto um pouco diferente de leis físicas. Para compreender todas as implicações do multiverso, é importante primeiro compreender que a inflação se aproveita das consequências bizarras tanto das equações de Einstein quanto da teoria quântica. Na teoria de Einstein, temos a possível existência de universos múltiplos, e, na teoria quântica, temos o meio possível de se passar de uma para outra. E, dentro de uma nova estrutura chamada de teoria M, talvez tenhamos a teoria final capaz de resolver estas questões sobre universos paralelos e viagem no tempo de uma vez por todas.

PARTE II

O MULTIVERSO

CAPÍTULO CINCO

Portais Dimensionais e Viagem no Tempo

> Dentro de cada buraco negro que colapsa podem estar as sementes de um novo universo em expansão.
>
> – Sir Martin Rees

> Buracos negros podem ser aberturas para um outro tempo. Se mergulhássemos num buraco negro, emergiríamos, é o que se conjectura, numa parte diferente do universo e em outra época do tempo... Buracos negros podem ser entradas para Países das Maravilhas. Mas lá existem Alices ou coelhos brancos?
>
> – Carl Sagan

A teoria da relatividade geral é como um cavalo de Troia. Superficialmente, é magnífica. Com algumas simples suposições, é possível obter as características gerais do cosmo, inclusive a curvatura da luz estelar e o próprio Big Bang, tudo tendo sido medido com surpreendente exatidão. Mesmo a inflação pode ser acomodada se inserirmos à mão uma constante cosmológica no universo primordial. Estas soluções nos dão a teoria mais atraente para nascimento e morte do universo.

Mas à espreita no interior do cavalo encontramos todos os tipos de demônios e duendes, incluindo buracos negros, buracos brancos, buracos de minhoca e até máquinas do tempo, que desafiam o senso comum. Estas anomalias foram consideradas tão bizarras que até o próprio Einstein pensou que jamais seriam encontradas na natureza. Durante anos ele lutou tenazmente contra estas estranhas soluções. Hoje, sabemos, que não é fácil descartar estas anomalias. Fazem parte da relatividade geral. E, de fato, podem até representar uma salvação para o ser inteligente que confronta o grande congelamento.

Mas talvez a mais estranha destas anomalias seja a possibilidade da existência de universos paralelos e ligações entre eles. Se lembrarmos da metáfora criada por Shakespeare de que o mundo todo é um palco, então a relatividade geral admite a possibilidade de alçapões. Mas, em vez de levarem ao porão, descobrimos que os alçapões conduzem a palcos paralelos iguais ao original. Imagine o palco da vida consistindo em palcos com múltiplos andares, um em cima do outro. Em cada palco, os atores leem os seus textos e andam de um lado para o outro no cenário, pensando que o deles é o único, sem prestar atenção na

possibilidade de realidades alternativas. Entretanto, se um dia, por acaso, caírem por um alçapão, darão num palco totalmente novo, com novas leis, novas regras e um novo roteiro.

Mas, se pode existir um número infinito de universos, então a vida é possível em qualquer um destes universos com leis físicas diferentes? É uma pergunta que Isaac Asimov propôs no seu clássico conto de ficção científica *Despertar dos deuses*, onde ele criou um universo paralelo com uma força nuclear diferente da nossa. Novas e intrigantes possibilidades surgem quando se rejeitam as leis da física usuais e quando outras são introduzidas.

A história começa no ano de 2070, quando um cientista, Frederick Hallam, nota que o tungstênio-186 comum está sendo estranhamente convertido num misterioso plutônio-186, que tem prótons demais e deveria ser instável. Hallam teoriza que este estranho plutônio-186 vem de um universo paralelo onde a força nuclear é muito mais forte, portanto ela vence a repulsão dos prótons. Visto que este estranho plutônio-186 emite uma grande quantidade de energia na forma de elétrons, ele pode ser aproveitado para gerar uma quantidade fabulosa de energia de graça. Isto torna possível a famosa bomba de elétrons de Hallam, que soluciona a crise de energia na Terra, fazendo dele um homem rico. Mas tem um preço. Se entrar bastante plutônio-186 estranho no nosso universo, então a força nuclear, em geral, aumentará de intensidade. Isto significa que mais energia será liberada do processo de fusão, e o Sol ficará mais brilhante e acabará explodindo, destruindo todo o sistema solar!

Enquanto isso, os alienígenas no universo paralelo têm uma perspectiva diferente. O universo deles está morrendo. A força nuclear é muito forte naquele universo, o que quer dizer que as estrelas vêm consumindo hidrogênio numa velocidade enorme e em breve morrerão. Eles estabelecem a permuta na qual o plutônio-186 inútil é enviado para o nosso universo em troca do precioso tungstênio-186, o que lhes permite criar a bomba de pósitrons, que salva o seu mundo moribundo. Embora percebendo que a força nuclear ficará mais potente no nosso universo, fazendo as nossas estrelas explodirem, eles não se incomodam com isso.

A Terra, pelo visto, caminha para o desastre. A humanidade habituou-se com a energia grátis de Hallam, recusando-se a acreditar que o Sol em breve explodirá. Outro cientista aparece com uma engenhosa solução para este dilema. Ele está convencido de que devem existir outros universos paralelos e modifica, com sucesso, um potente acelerador de partículas para criar um buraco no espaço que ligue o nosso universo a muitos outros. Procurando entre eles, finalmente encontra um universo paralelo que está vazio, exceto por um “ovo cósmico” que contém quantidades ilimitadas de energia, mas com uma força nuclear mais

fraca.

Ao sugar a energia deste ovo cósmico, ele pode criar uma nova bomba de energia e, ao mesmo tempo, enfraquecer a força nuclear no nosso universo, impedindo assim a explosão do Sol. Contudo, isso tem um preço: o novo universo paralelo terá a sua força nuclear aumentada, o que o fará explodir. Mas ele conclui que esta explosão será a mera “eclosão” do ovo cósmico, criando um novo Big Bang. Com efeito, segundo ele percebe, ele será a parteira de um novo universo em expansão.

O conto de ficção científica de Asimov é um dos poucos que realmente usam as leis da física nuclear para tecer uma história de ganância, intrigas e salvação. Asimov estava certo ao supor que mudar a intensidade das forças no nosso universo teria consequências desastrosas, que as estrelas no nosso universo ficariam mais brilhantes e depois explodiriam se a força nuclear aumentasse de potência. Isto gera a seguinte dúvida: os universos paralelos são coerentes com as leis da física? E, se forem, o que seria necessário para entrar num deles?

Para compreender estas questões, devemos primeiro entender a natureza dos buracos de minhoca, da energia negativa e, é claro, desses misteriosos objetos chamados buracos negros.

BURACOS NEGROS

Em 1783, o astrônomo britânico, John Michell, foi o primeiro a se perguntar o que aconteceria se uma estrela ficasse tão grande que a própria luz não conseguisse escapar. Qualquer objeto, ele sabia, tem uma “velocidade de escape”, a velocidade necessária para suplantar a sua atração gravitacional. (No caso da Terra, por exemplo, a velocidade de escape é de 40 mil quilômetros por hora, a velocidade que qualquer foguete precisa alcançar para se libertar da gravidade da Terra.)

Michell ficou imaginando o que poderia acontecer se uma estrela se tornasse tão massiva que a sua velocidade de escape fosse igual à velocidade da luz. A sua gravitação seria tão imensa que nada poderia escapar dela, nem mesmo a luz, e portanto o objeto pareceria negro para o mundo exterior. Encontrar um objeto assim no espaço seria de certo modo impossível, visto que ele seria invisível.

A questão das “estrelas negras” de Michell ficou quase totalmente esquecida durante um século e meio. Mas o tema ressurgiu em 1916, quando Karl Schwarzschild, um físico alemão que servia no exército alemão no front russo, encontrou uma solução exata das equações de Einstein para uma estrela massiva.

Ainda hoje, a solução de Schwarzschild é conhecida como a mais simples e elegante solução exata para essas equações. Einstein ficou abismado ao saber que Schwarzschild conseguiu achar a solução para as suas complexas equações tensoriais enquanto se esquivava dos fogos de artilharia. Ele ficou igualmente pasmo com o fato de que a solução de Schwarzschild tivesse propriedades peculiares.

A solução de Schwarzschild, de longe, poderia representar a gravitação de uma estrela comum, e Einstein rapidamente usou a solução para calcular a gravidade que cerca o Sol e conferir seus cálculos anteriores, nos quais tinha feito aproximações. Por isso, ele ficou eternamente grato a Schwarzschild. Mas, em seu segundo artigo, Schwarzschild mostrou que circundando uma estrela muito massiva havia uma "esfera mágica" com propriedades estranhas. Esta "esfera mágica" era um ponto sem volta. Quem atravessasse a "esfera mágica" seria imediatamente sugado pela gravidade para dentro da estrela e nunca mais seria visto. Nem mesmo a luz poderia escapar se caísse dentro desta esfera. Schwarzschild não percebeu que estava redescobrindo a estrela negra de Michell através das equações de Einstein.

Ele, em seguida, calculou o raio desta esfera mágica (chamada de raio de Schwarzschild). Para um objeto do tamanho do nosso Sol, a esfera mágica tinha cerca de 3 quilômetros. (Para a Terra, o raio de Schwarzschild é aproximadamente de um centímetro.) Isto significava que se alguém pudesse comprimir o Sol até 3 quilômetros, então ele se tornaria uma estrela escura e devoraria qualquer objeto que passasse por este ponto de não retorno.

Experimentalmente, a existência da esfera mágica não causava problemas, visto que era impossível espremer o Sol até 3 quilômetros. Não se conhecia nenhum mecanismo para criar uma estrela tão fantástica. Mas, teoricamente, era um desastre. Embora a teoria da relatividade geral de Einstein fosse capaz de dar resultados brilhantes, como a curvatura da luz estelar ao redor do Sol, a teoria não fazia sentido à medida que você se aproximasse da esfera mágica em si, onde a gravidade tornava-se infinita.

Um físico holandês, Johannes Droste, em seguida, mostrou que a solução era ainda mais doida. Segundo a relatividade, os feixes de luz, mostrou ele, teriam uma curvatura muito pronunciada, movendo-se ao redor do objeto. De fato, a 1,5 vezes o raio de Schwarzschild, os feixes de luz orbitavam em círculos ao redor da estrela. Droste mostrou que as distorções de tempo encontradas na relatividade geral ao redor destas estrelas massivas eram muito maiores do que as encontradas na relatividade especial. Ele mostrou que, à medida que você se aproximasse desta esfera mágica, alguém distante diria que os seus relógios estavam ficando cada vez mais lentos, até pararem totalmente quando você

atingisse o objeto. De fato, alguém de fora diria que você estava congelado no tempo ao atingir a esfera mágica. Como o próprio tempo pararia neste ponto, alguns físicos acreditavam que esse objeto tão bizarro jamais poderia existir na natureza. Para tornar as coisas ainda mais interessantes, o matemático Herman Weyl mostrou que se alguém investigasse o mundo dentro da esfera mágica, pareceria haver outro universo do outro lado.

Isto tudo era tão fantástico que nem Einstein conseguiu acreditar. Em 1922, durante uma conferência em Paris, o matemático Jacques Hadamard perguntou a Einstein o que aconteceria se tal "singularidade" fosse real, isto é, se a gravidade se tornasse infinita no raio de Schwarzschild. Einstein respondeu: "Seria um verdadeiro desastre para a teoria; e seria muito difícil dizer, a priori, o que poderia acontecer fisicamente porque a fórmula não se aplica mais."[1] Einstein, mais tarde, chamaria a isto de "desastre de Hadamard". Mas ele achava que toda esta controvérsia em torno das estrelas negras era pura especulação. Primeiro, ninguém jamais vira um objeto tão bizarro, e talvez eles não existissem, isto é, eles não eram físicos. Além disso, você morreria esmagado se um dia caísse dentro de um deles. E, visto que ninguém jamais poderia atravessar a esfera mágica (já que o tempo tinha parado), ninguém jamais poderia entrar neste universo paralelo.

Na década de 1920, os físicos estava totalmente confusos. Mas, em 1932, uma descoberta importante foi feita por George Lemaître, pai da teoria do Big Bang. Ele mostrou que a esfera mágica não era nenhuma singularidade onde a gravidade se tornava infinita; era apenas uma ilusão matemática causada pela escolha de um conjunto infeliz de elementos matemáticos. (Escolhendo-se um conjunto diferente de coordenadas ou variáveis para examinar a esfera mágica, a singularidade desaparecia.)

Levando em conta este resultado, o cosmólogo H. P. Robertson então examinou o resultado original de Droste que dizia que o tempo para na esfera mágica. Ele descobriu que o tempo parava somente do referencial de alguém que observasse um foguete espacial entrar na esfera mágica. Da perspectiva do próprio foguete espacial, levaria apenas uma fração de segundo para a gravidade sugá-lo para dentro da esfera mágica. Em outras palavras, um viajante espacial que tivesse o azar de atravessar a esfera mágica morreria esmagado quase instantaneamente, mas, para um observador de fora, isso pareceria levar milhares de anos.

Este era um resultado importante. Significava que era possível alcançar a esfera mágica e que ela não podia mais ser descartada como uma monstruosidade matemática. Tinha-se que considerar seriamente o que poderia acontecer se alguém atravessasse a esfera mágica. Os físicos, então, calcularam

como seria uma jornada através da esfera mágica. (Hoje, a esfera mágica é chamada de horizonte de eventos. O horizonte se refere ao ponto mais distante que se pode ver. Aqui, ele se refere ao ponto mais distante até onde uma luz pode viajar. O raio do horizonte de eventos chama-se raio de Schwarzschild.)

À medida que você se aproximasse do buraco negro num foguete, veria a luz que foi capturada há bilhões de anos por ele, até a sua criação. Em outras palavras, a história da vida do buraco negro se revelaria para você. Conforme você fosse chegando mais perto, as forças de maré rasgariam os átomos do seu corpo, até que os núcleos dos seus átomos virassem espaguete. A jornada através do horizonte de eventos seria uma viagem sem volta, porque a gravidade seria tão intensa que você seria inevitavelmente sugado direto para o centro, onde morreria esmagado. (Para sair do horizonte de eventos, seria necessário viajar mais rápido do que a luz, o que é impossível.)

Em 1939, Einstein escreveu um artigo no qual tentou descartar essas estrelas negras, alegando que elas não podiam ser formadas por processos naturais. Ele começou supondo que uma estrela se forma a partir de um rodamoinho de poeira, gases e fragmentos de rocha girando numa esfera, gradualmente unindo-se devido à gravidade. Ele, em seguida, mostrou que este rodamoinho de partículas jamais entrará em colapso dentro do raio Schwarzschild e, portanto, jamais será um buraco negro. Na melhor das hipóteses, esta massa rodopiante de partículas chegará perto de 1,5 vezes o raio de Schwarzschild e, por conseguinte, os buracos negros jamais se formarão. (Para descer a menos de 1,5 vezes o raio de Schwarzschild, seria preciso viajar mais rápido do que a velocidade da luz, o que não é possível.) “O resultado essencial deste exame é uma clara compreensão do motivo de não existirem ‘singularidades de Schwarzschild’ na realidade física”, escreveu Einstein.[2]

Arthur Eddington também tinha fortes reservas a respeito dos buracos negros e desconfiou a vida toda de que eles não poderiam existir. Ele disse, certa vez, que deveria “haver uma lei da natureza para impedir uma estrela de se comportar desse modo absurdo”.[3]

Ironicamente, naquele mesmo ano, J. Robert Oppenheimer (que mais tarde construiria a bomba atômica) e seu aluno Hartland Snyder mostraram que um buraco negro *poderia* realmente se formar por meio de outro mecanismo. Em vez de supor que um buraco negro fosse gerado por um rodamoinho de partículas entrando em colapso sob a gravidade, eles usaram como ponto de partida uma estrela velha, massiva, que esgotou o seu combustível nuclear e, por conseguinte, implodia sob a força da gravidade. Por exemplo, uma estrela gigante, moribunda, com quarenta vezes a massa do Sol poderia esgotar o seu

combustível nuclear e ser comprimida pela gravitação até o raio de Schwarzschild de 128 quilômetros, quando, então, ela inevitavelmente colapsaria dentro de um buraco negro. Os buracos negros, sugeriram eles, não só eram possíveis como poderiam ser o fim natural para bilhões de estrelas gigantes moribundas na galáxia. (Talvez a ideia de implosão, da qual Oppenheimer foi o pioneiro em 1939, tenha sido a inspiração para o mecanismo de implosão usado na bomba atômica poucos anos depois.)

A PONTE EINSTEIN-ROSEN

Embora achando os buracos negros incríveis demais para existirem na natureza, Einstein depois ironicamente mostrou que eles eram ainda mais estranhos do que se pensava, admitindo a possibilidade de buracos de minhoca existirem no centro de um buraco negro. Os matemáticos os chamam de espaços multiplamente conexos. Os físicos os chamam de buracos de minhoca porque, como uma minhoca furando a terra, eles criam um caminho alternativo entre dois pontos. Eles são, às vezes, chamados de portais dimensionais ou portas de entrada. Seja lá como você os chamar, eles podem, um dia, ser o melhor meio para viagens interdimensionais.

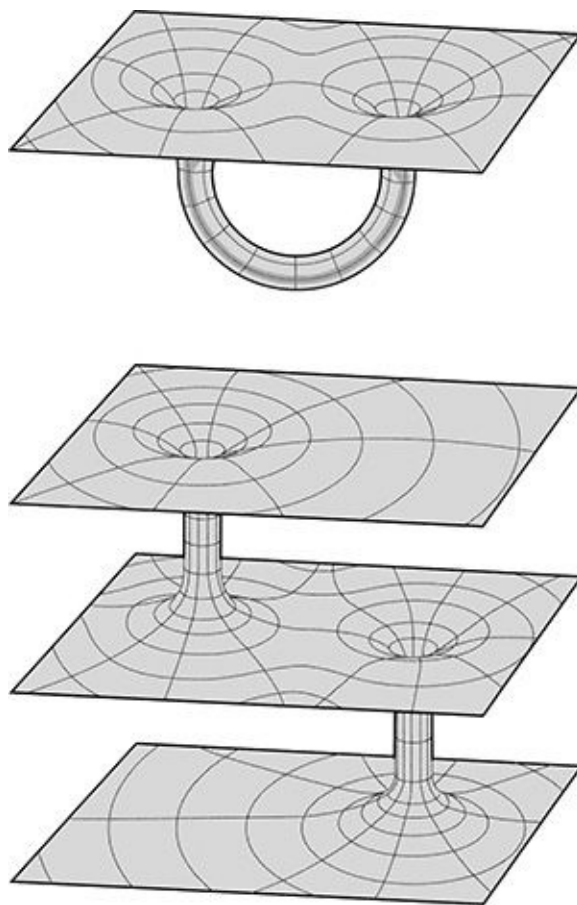
A primeira pessoa a popularizar os buracos de minhoca foi Charles Dodgson, que escrevia sob o pseudônimo literário de Lewis Carroll. Em *Alice através do espelho*, ele introduziu o buraco de minhoca como o espelho que ligava a área rural de Oxford ao País das Maravilhas. Como matemático profissional e docente da Universidade de Oxford, Dogdson estava familiarizado com estes espaços multiplamente conexos. Por definição, um espaço multiplamente conexo é um espaço no qual um laço não pode ser encolhido até um ponto. Em geral, qualquer laço pode, sem esforço, colapsar para um ponto. Mas, se analisarmos uma rosquinha, então é possível colocar o laço na sua superfície de modo que ele circule o orifício da rosca. À medida que lentamente colapsamos o laço, descobrimos que ele não pode ser comprimido a um ponto; na melhor das hipóteses, ele pode ser encolhido até a circunferência do buraco.

Os matemáticos ficaram encantados por terem descoberto um objeto que era totalmente inútil para descrever o espaço. Mas, em 1935, Einstein e seu aluno Nathan Rosen introduziram os buracos de minhoca no mundo da física. Eles estavam tentando usar a solução do buraco negro como um modelo para partículas elementares. Einstein jamais gostou da ideia, desde a época de Newton, de que a gravitação de uma partícula se tornava infinita à medida que

você se aproximava dela. Esta “singularidade”, pensava Einstein, devia ser eliminada porque não fazia sentido.

Einstein e Rosen tiveram a ideia original de representar um elétron (que, em geral, se considerava um ponto minúsculo sem qualquer estrutura) como um buraco negro. Deste modo, a relatividade geral poderia ser usada para explicar os mistérios do mundo quântico numa teoria de campo unificada. Eles começaram com a solução do buraco negro padrão, que se assemelha a um grande vaso com um longo gargalo. Em seguida, eles cortaram o gargalo e fundiram-no com outra solução de buraco negro que foi virada de cabeça para baixo. Para Einstein, esta estranha mas suave configuração estaria livre da singularidade na origem do buraco negro e poderia atuar como um elétron.

Infelizmente, a ideia de Einstein de representar um elétron como um buraco negro fracassou. Mas, hoje, os cosmólogos especulam que a ponte Einstein-Rosen pode funcionar como um portal entre dois universos. Poderíamos nos mover à vontade em um universo até cairmos, por acaso, dentro de um buraco negro, por onde seríamos de repente sugados pelo buraco, emergindo do outro lado (através de um buraco branco).

Para Einstein, qualquer solução da sua equação, se começasse com um ponto inicial fisicamente plausível, deveria corresponder a um objeto fisicamente possível. Mas ele não estava preocupado que alguém caísse num buraco negro e entrasse num universo paralelo. As forças de maré se tornariam infinitas no centro, e quem tivesse o azar de cair em um buraco negro teria seus átomos estraçalhados pelo campo gravitacional. (A ponte Einstein-Rosen abre-se momentaneamente, mas fecha tão rápido que nenhum objeto pode atravessá-la a tempo de chegar ao outro lado.) A atitude de Einstein era que, embora possam existir buracos de minhoca, os seres vivos jamais poderiam atravessá-los e continuar vivos para contar a história.

A ponte Einstein-Rosen. No centro de um buraco negro, tem um "gargalo" que conecta o espaço-tempo com outro universo ou outro ponto no nosso universo. Embora a viagem através de um buraco negro estacionário seja fatal, buracos negros em rotação têm uma singularidade anelar, de modo a possibilitar a passagem através do anel e pela ponte Einstein-Rosen, embora isso ainda seja uma especulação.

BURACOS NEGROS EM ROTAÇÃO

Em 1963, entretanto, esta visão começou a mudar, quando o matemático neozelandês, Roy Kerr, encontrou uma solução exata para a equação de Einstein que descrevia talvez uma estrela moribunda mais realista, um buraco negro girando. Devido à conservação do momentum angular, à medida que uma estrela entra em colapso sob a gravidade, ela gira mais rápido. (Por esta mesma razão, as galáxias em rotação parecem rodinhas de fogos de artifício, e, por isso, os patinadores giram mais rápido se trouxerem os braços para junto do corpo.) Uma estrela girando poderia colapsar num anel de nêutrons, que se manteria estável por causa da força centrífuga intensa empurrando para fora, anulando a força de gravidade para dentro. A surpreendente característica desse buraco negro era a

de que, se você caísse no buraco negro de Kerr, *não* morreria esmagado. Pelo contrário, seria sugado completamente através da ponte Einstein-Rosen para um universo paralelo. “Atravesse este anel mágico e – presto! – está num universo totalmente novo, onde raio e massa são negativos!”, exclamou Kerr para um colega, quando descobriu esta solução.[4]

A moldura do espelho de Alice, em outras palavras, era como um anel giratório de Kerr. Mas qualquer viagem através do anel de Kerr seria só de ida. Se você atravessasse o horizonte de eventos que cerca esse anel, a gravidade não seria suficiente para esmagá-lo até a morte, mas seria o bastante para impedir uma viagem de volta através do horizonte de eventos. (O buraco negro de Kerr, de fato, tem dois horizontes de evento. Houve quem especulasse que você talvez precisasse de um segundo anel de Kerr, conectando o universo paralelo de volta ao nosso, para fazer a viagem de volta.) De certo modo, um buraco negro de Kerr pode ser comparado com um elevador dentro de um arranha-céu. O elevador representa a ponte Einstein-Rosen, que conecta diferentes andares, onde cada andar é um universo diferente. Existe um número infinito de andares neste arranha-céu, um diferente do outro. Mas o elevador não pode nunca descer. Só tem um botão de “subir”. Uma vez saindo de um andar, ou universo, não haveria retorno porque você teria passado um horizonte de eventos.

Os físicos estão divididos quanto à possível estabilidade de um anel de Kerr. Alguns cálculos sugerem que, se alguém tentasse passar pelo anel, a própria presença dessa pessoa desestabilizaria o buraco negro e a entrada se fecharia. Se um feixe de luz, por exemplo, passasse por dentro de um buraco negro de Kerr, ele ganharia muitíssima energia ao cair em direção ao centro e seria desviado para o azul – isto é, aumentariam a frequência e a energia. Ao se aproximar do horizonte, ele teria tanta energia que mataria quem quer que tentasse passar pela ponte de Einstein-Rosen. Ele geraria também o seu próprio campo gravitacional, o que interferiria com o buraco negro original, talvez destruindo o portão de entrada.

Em outras palavras, embora alguns físicos acreditem que o buraco negro de Kerr seja o mais realista de todos os buracos negros, e poderia mesmo conectar universos paralelos, não está claro até que ponto seria seguro entrar na ponte e o quanto a porta de entrada seria estável.

OBSERVANDO BURACOS NEGROS

Por causa das estranhas propriedades dos buracos negros, até o início da década

de 1990, a sua existência ainda era considerada ficção científica. “Dez anos atrás, se você encontrasse um objeto que você achasse que era um buraco negro no centro de uma galáxia, metade do pessoal da área pensaria que você é meio maluco”, observou o astrônomo Douglas Richstone, da Universidade de Michigan, em 1998.[5] Deste então, os astrônomos têm identificado várias centenas de buracos negros no espaço cósmico através do telescópio espacial Hubble, do telescópio espacial de raios X Chandra (que mede emissões de raios X que vêm de fontes estelares e galácticas energéticas) e do Very Large Array Radio Telescope (que consiste de uma série de poderosos radiotelescópios, no Novo México). Muitos astrônomos acreditam, de fato, que a maioria das galáxias nos céus (que têm bolsões centralizados) têm no centro de seus discos buracos negros.

Conforme previsto, todos os buracos negros no espaço estão girando muito rápido; alguns foram cronometrados pelo telescópio espacial Hubble como girando a cerca de 1,6 milhão de quilômetro por hora. No centro, pode-se ver um núcleo circular, plano, quase sempre com um ano-luz de diâmetro. Dentro desse núcleo, fica o horizonte de eventos e o buraco negro em si.

Como os buracos negros são invisíveis, os astrônomos têm de usar meios indiretos para verificar a sua existência. Nas fotografias, eles tentam identificar o “disco de acreção” de gás rodopiante que circunda o buraco negro. Os astrônomos já coletaram belas fotos destes discos de acreção. (Esses discos são quase sempre encontrados na maioria dos objetos que giram muito rápido no universo. Até o nosso Sol deve ter tido um disco semelhante circundando-o ao se formar há 4,5 bilhões de anos, que mais tarde se condensou nos planetas. Esses discos se formam porque representam o estado mais baixo de energia para um objeto que gira tão rápido.) Usando as leis do movimento de Newton, os astrônomos podem calcular a massa do objeto central sabendo a velocidade das estrelas que orbitam ao redor. Se a massa do objeto central tem uma velocidade de escape igual à velocidade da luz, então nem a luz consegue escapar, o que proporciona a prova indireta da existência de um buraco negro.

O horizonte de eventos fica no centro do disco de acreção. (Infelizmente ele é pequeno demais para ser identificado com a tecnologia atual. O astrônomo Fulvio Melia afirma que uma foto do horizonte de eventos de um buraco negro é o “cálice sagrado” da ciência dos buracos negros.) Nem todos os gases que caem em direção a um buraco negro atravessam o horizonte de eventos. Alguns desviam-se do horizonte de eventos e são lançados na sua tangente com velocidades enormes e ejetados no espaço, formando dois longos jatos de gás que emanam dos polos norte e sul do buraco negro. Isto dá ao buraco negro a aparência de um pião girando. (Os jatos são ejetados assim provavelmente

porque as linhas de campo magnético da estrela em colapso, à medida que se tornam mais intensas, concentram-se acima dos polos norte e sul. À medida que a estrela continua colapsando, estas linhas de campo magnético condensam-se em dois tubos que emanam dos pólos norte e sul. À medida que partículas ionizadas caem dentro da estrela em colapso, elas seguem estas estreitas linhas de força magnéticas e são ejetadas pelos campos magnéticos polares norte e sul.)

Dois tipos de buracos negros foram identificados. O primeiro é o buraco negro estelar, no qual a gravidade esmaga uma estrela moribunda até que ela implode. O segundo, entretanto, é mais fácil de ser detectado. São os buracos negros galácticos, que espreitam nos próprios centros de enormes galáxias e quasares, e pesam de milhões a bilhões de massas solares.

Recentemente, um buraco negro foi definitivamente identificado no centro da nossa própria galáxia. Por infelicidade, nuvens de poeira obscurecem o centro galáctico; não fosse por isso, poderíamos ver da Terra uma imensa bola de fogo vinda da constelação de Sagitário. Sem a poeira, o centro da nossa Via Láctea provavelmente brilharia mais do que a Lua e seria o objeto mais luminoso no céu noturno. No meio deste núcleo galáctico fica um buraco negro que pesa cerca de 2,5 milhões de massas solares. Em termos do seu tamanho, é mais ou menos um décimo do raio da órbita de Mercúrio. Em padrões galácticos, este não é um buraco negro massivo demais; os quasares podem ter buracos negros que pesam vários bilhões de massas solares. O buraco negro no nosso quintal está bastante tranquilo atualmente.

O próximo buraco negro galáctico mais perto de nós fica no centro da galáxia de Andrômeda, a galáxia mais próxima da Terra. Pesa 30 milhões de massas solares, e seu raio de Schwarzschild é de uns 90 milhões de quilômetros. (No centro de Andrômeda ficam, no mínimo, dois objetos massivos, provavelmente restos de uma galáxia anterior que foi devorada por Andrômeda há bilhões de anos. Se a Via Láctea acabar colidindo com Andrômeda daqui a bilhões de anos, como parece provável, talvez a nossa galáxia termine no "estômago" de Andrômeda.)

Uma das fotos mais bonitas de um buraco negro galáctico é a da galáxia NGC 4761, tirada pelo telescópio espacial Hubble. No passado, fotografias desta galáxia com radiotelescópios mostravam dois graciosos jatos disparando dos polos norte e sul da galáxia, mas ninguém sabia que mecanismo havia por trás disso. O telescópio Hubble fotografou o centro da galáxia em si, revelando um belo disco com cerca de 400 anos-luz de diâmetro. No seu centro, havia um pontinho minúsculo contendo o disco de acreção, com cerca de um ano-luz de diâmetro. O buraco negro no centro, que não podia ser visto pelo telescópio Hubble, pesa aproximadamente 1,2 bilhão de massas solares.

Os buracos negros galácticos como este são tão poderosos que podem consumir estrelas inteiras. Em 2004, a NASA e a Agência Espacial Europeia anunciaram que haviam detectado um enorme buraco negro numa galáxia distante devorando uma estrela de um bocado só. O telescópio de raio X Chandra e o satélite europeu XMM-Newton observaram o mesmo evento: uma explosão de raios X sendo emitidos pela galáxia RX J1242-II, indicando que uma estrela havia sido engolida por um enorme buraco negro no centro. Estima-se que este buraco negro pese 100 milhões de vezes a massa do nosso Sol. Os cálculos mostraram que, à medida que uma estrela aproxima-se perigosamente do horizonte de eventos de um buraco negro, a enorme gravidade distorce e estica a estrela até que ela se rompe, emitindo uma explosão característica de raios X. “Esta estrela foi esticada além do seu ponto de ruptura. Esta estrela infeliz estava simplesmente zanzando no lugar errado”, observou o astrônomo Stefanie Komossa, do Institute Max Planck, em Garching, na Alemanha.[6]

A existência de buracos negros ajudou a solucionar muitos antigos mistérios. A galáxia M-87, por exemplo, sempre foi uma curiosidade para os astrônomos, porque parecia uma bola massiva de estrelas com uma estranha “cauda saindo dela”. Como emitia uma enorme quantidade de radiação, num determinado momento os astrônomos pensaram que esta cauda representava um fluxo de antimatéria. Mas hoje os astrônomos descobriram que ela é energizada por um enorme buraco negro que pesa talvez 3 bilhões de massas solares. E essa estranha cauda, acredita-se hoje, deve ser um gigantesco jato de plasma que está fluindo para fora, não para dentro, da galáxia.

Uma das descobertas mais espetaculares sobre os buracos negros ocorreu quando o telescópio de raios X Chandra conseguiu espiar através de uma pequena brecha na poeira no espaço cósmico e observou um grupo de buracos negros perto da beira do universo visível. No todo, seiscentos buracos negros podiam ser vistos. Extrapolando a partir disso, os astrônomos estimam que existam pelo menos 300 milhões de buracos negros em todo o céu noturno.

EXPLOSÕES DE RAIOS GAMA

Os buracos negros mencionados aqui talvez existam há bilhões de anos. Mas os astrônomos agora têm a rara oportunidade de ver buracos negros sendo formados bem diante de seus olhos. Alguns são provavelmente as misteriosas explosões de raios gama que liberam as maiores quantidades de energia do universo. Imensas explosões de raios gama só perdem para o próprio Big Bang em termos de

energia liberada.

As explosões de raios gama têm uma história curiosa, que data da Guerra Fria. No final da década de 1960, os Estados Unidos estavam preocupados, temendo que a União Soviética, ou outro país qualquer, pudesse secretamente detonar uma bomba nuclear, talvez numa parte deserta da Terra ou até na Lua, violando tratados existentes. Portanto, os Estados Unidos lançaram o satélite Vela para localizar especificamente "flashes nucleares" ou detonações não autorizadas de bombas nucleares. Como uma detonação nuclear se desenvolve em estágios distintos, microssegundo por microssegundo, cada flash nuclear emite um flash duplo de luz característico que pode ser visto por satélite. (O satélite Vela captou mesmo dois desses flashes nucleares na década de 1970, na costa da ilha Prince Edward, próxima da África do Sul, na presença de navios de guerra israelenses; isto ainda está sendo debatido pela comunidade de inteligência.)

Mas o que surpreendeu o Pentágono foi que o satélite Vela estava captando sinais de imensas explosões nucleares no espaço. Estaria a União Soviética detonando secretamente bombas de hidrogênio no espaço profundo, usando uma tecnologia avançada e desconhecida? Preocupados que os soviéticos pudessem ter ultrapassado os americanos em tecnologia de armamentos, o Pentágono mandou buscar os melhores cientistas para analisar estes sinais profundamente perturbadores.

Depois da dissolução da União Soviética, não havia mais necessidade de manter em sigilo estas informações, portanto o Pentágono descarregou uma montanha de dados no mundo da astronomia, o que foi retumbante. Pela primeira vez em décadas, um fenômeno astronômico inteiramente novo, de imenso poder e abrangência, tinha sido revelado. Os astrônomos imediatamente perceberam que estas explosões de raios gama, como foram chamadas, eram de um poder titânico, liberando em segundos a produção inteira de energia do nosso Sol durante toda a sua história (cerca de bilhões de anos). Mas estes eventos também eram fugazes; depois de detectados pelo satélite Vela, eles haviam se apagado tanto que, ao apontarem da Terra os telescópios na sua direção, nada pôde ser visto na sua esteira. (A maioria das explosões dura entre 1 e 10 segundos, mas a mais curta durou 0,01 segundo, e algumas duraram no máximo alguns minutos.)

Hoje, telescópios espaciais, computadores e equipes de resposta rápida mudaram a nossa capacidade de localizar explosões de raios gama. Umas três vezes por dia são detectadas essas explosões, desencadeando uma complexa cadeia de eventos. Assim que a energia de uma delas é detectada por satélite, astrônomos com computadores localizam logo as coordenadas exatas e apontam mais telescópios e sensores na sua direção.

Os dados obtidos com estes instrumentos revelaram resultados realmente espantosos. No coração destas explosões de raios gama reside um objeto frequentemente com apenas dezenas de quilômetros de diâmetro. Em outras palavras, o inimaginável poder cósmico das explosões de raios gama está concentrado em uma área do tamanho, digamos, da cidade de Nova York. Durante anos, os principais candidatos para esses eventos eram estrelas de nêutrons em colisão num sistema estelar binário. Segundo esta teoria, à medida que a órbita destas estrelas de nêutrons decaía com o tempo, e à medida que elas seguiam uma espiral de morte, acabariam colidindo e criando uma imensa liberação de energia. Esses eventos são extremamente raros, mas como o universo é tão grande, e como estas explosões iluminam todo o universo, elas deveriam ser vistas várias vezes por dia.

Mas, em 2003, novas evidências coletadas por cientistas sugeriram que as explosões de raios gama eram o resultado de uma "hipernova" que cria um buraco negro massivo. Ao focalizarem rapidamente telescópios e satélites na direção de explosões de raios gama, os cientistas descobriram que elas pareciam uma supernova massiva. Visto que a estrela em explosão tinha um enorme campo magnético e ejetava radiação nas direções polares norte e sul, podia parecer que a supernova tinha mais energia do que tem na realidade – isto é, observamos estas explosões apenas se estiverem apontadas diretamente para a Terra, dando a falsa impressão de que são mais fortes do que o são na realidade.

Se explosões de raios gamas são realmente buracos negros em formação, então a próxima geração de telescópios espaciais vai poder analisá-las detalhadamente e talvez responder a algumas das questões mais profundas sobre o espaço e o tempo. Especificamente, se os buracos negros podem curvar o espaço, como um pretzel, podem também curvar o tempo?

A MÁQUINA DO TEMPO DE VAN STOCKUM

A teoria de Einstein associa espaço e tempo numa unidade inseparável. Consequentemente, qualquer buraco de minhoca que conectar dois pontos distantes no espaço poderia também conectar dois pontos distantes no tempo. Em outras palavras, a teoria de Einstein considera a possibilidade de viagens no tempo.

O conceito de tempo em si evoluiu ao longo dos séculos. Para Newton, o tempo era como uma seta; uma vez disparada, jamais mudava de curso e viajava infalível e uniformemente até o seu alvo. Einstein então introduziu o conceito de

espaço deformado, em que o tempo era mais como um rio que delicadamente acelerava e diminuía de velocidade à medida que serpenteava pelo universo. Mas Einstein preocupava-se com a possibilidade de que talvez o rio do tempo pudesse enroscar-se nele mesmo. Talvez houvesse rodamoinhos ou bifurcações no rio do tempo.

Em 1937, esta possibilidade foi percebida quando W. Van Stockum descobriu uma solução para as equações de Einstein que permitia viagens no tempo. Ele começou com um cilindro infinito que girava. Embora não seja fisicamente possível construir um objeto infinito, ele calculou que, se esse cilindro girasse na velocidade da luz ou próximo dela, arrastaria junto o tecido do espaço-tempo, muito parecido com melado sendo arrastado pelas lâminas de uma batedeira de bolo. (Isto se chama *frame-dragging*, arrastamento de referencial, e tem sido verificado experimentalmente em fotografias detalhadas de buracos negros em rotação.)

Quem tivesse a coragem de viajar ao redor do cilindro seria arrastado junto, alcançando velocidades fantásticas. De fato, para um observador distante, pareceria que o indivíduo estava excedendo a velocidade da luz. Embora o próprio Van Stockum não percebesse isso na época, ao completar uma viagem ao redor do cilindro, você, na verdade, voltaria no tempo, retornando antes de partir. Se você saísse ao meio-dia, quando retornasse ao seu ponto de partida talvez fossem seis horas da noite anterior. Quanto mais rápido o cilindro girasse, mais longe no tempo você retornaria (a única limitação era a de que você não poderia voltar a um tempo anterior ao momento da criação do próprio cilindro).

Visto que o cilindro é como um mastro enfeitado, todas as vezes que você dançasse ao redor dele giraria cada vez mais para trás no tempo. É claro que essa solução pode ser descartada porque cilindros não podem ser infinitamente longos. Além disso, se fosse possível construir um cilindro assim, as forças centrífugas que agem sobre ele, porque gira próximo da velocidade da luz, seriam enormes, desintegrando a matéria de que ele fosse feito.

O UNIVERSO DE GÖDEL

Em 1949, Kurt Gödel, o grande lógico matemático, encontrou uma solução ainda mais estranha para as equações de Einstein. Ele supôs que todo o universo estava girando. Como o cilindro de Van Stockum, você é arrastado pela natureza semelhante ao melado do espaço-tempo. Ao pegar um foguete ao redor do universo de Gödel, você retorna ao seu ponto de partida, mas volta atrás no

tempo.

No universo de Gödel, uma pessoa pode, em princípio, viajar entre quaisquer dois pontos no espaço e tempo no universo. Cada evento, em qualquer período de tempo, pode ser visitado, por mais distante que esteja no passado. Graças à gravitação, existe uma tendência de o universo de Gödel colapsar sobre si mesmo. Portanto, a força centrífuga de rotação deve equilibrar esta força gravitacional. Em outras palavras, o universo deve girar acima de uma determinada velocidade. Quanto maior o universo, maior a tendência a colapsar, e mais rápido o universo teria de girar para evitar o colapso.

Para um universo do nosso tamanho, por exemplo, Gödel calculou que ele teria de girar uma vez a cada 70 bilhões de anos, e o raio mínimo para viagens no tempo seria de 16 bilhões de anos-luz. Mas, para viajar para trás no tempo, você teria de viajar um pouco abaixo da velocidade da luz.

Gödel estava bastante consciente dos paradoxos que poderiam surgir desta solução – a possibilidade de você se encontrar no passado e alterar o rumo da história. “Ao fazer uma viagem de ida e volta num foguete espacial num percurso suficientemente longo, é possível nestes mundos viajar para qualquer região do passado, presente e futuro, e voltar, exatamente como é possível em outros mundos viajar a partes distantes do espaço”, escreveu ele. “Esta situação parece sugerir uma coisa absurda. Pois permite que alguém viaje para o passado próximo daqueles lugares onde ele mesmo viveu. Ali, essa pessoa encontraria alguém que seria ela mesmo num período anterior da sua vida. Agora, ela poderia fazer alguma coisa para esta pessoa que, pelo que se lembra, sabe que não lhe aconteceu.”[7]

Einstein ficou profundamente perturbado com a solução encontrada pelo seu amigo e vizinho no Instituto de Estudos Avançados, em Princeton. Sua resposta foi bastante reveladora:

> O artigo de Kurt Gödel representa, a meu ver, uma importante contribuição para a teoria da relatividade geral, especialmente para a análise do conceito de tempo. O problema aqui envolvido já me perturbou na época do desenvolvimento da teoria da relatividade geral, sem que eu conseguisse esclarecê-lo... A distinção “anterior-posterior” é abandonada para pontos-mundo que estão muito distantes num sentido cosmológico, e surgem esses paradoxos, no tocante à direção da conexão casual, dos quais o sr. Gödel falou... Será interessante avaliar se estes não deverão ser excluídos com base nos fundamentos da física.[8]

A resposta de Einstein é interessante por duas razões. Primeiro, ele admitiu que a possibilidade de viagens no tempo o incomodou ao formular pela primeira vez a relatividade geral. Visto que tempo e espaço são tratados como um pedaço de borracha que pode curvar e deformar, Einstein temia que o tecido de espaço-tempo deformasse tanto que viajar no tempo talvez fosse possível. Segundo, ele

descartou a solução de Gödel baseado em “fundamentos físicos” – isso é, o universo não gira, ele expande.

Quando Einstein morreu, todo mundo sabia que as suas equações levavam em consideração fenômenos estranhos (viagens no tempo, buracos de minhoca). Mas ninguém lhes deu muita importância porque os cientistas achavam que eles não poderiam acontecer na natureza. O consenso era o de que estas soluções não tinham base no mundo real; você morreria se tentasse chegar a um universo paralelo através de um buraco negro; o universo não girava; e você não pode fazer cilindros infinitos, tornando a viagem no tempo uma questão acadêmica.

A MÁQUINA DO TEMPO DE THORNE

A questão da viagem no tempo ficou adormecida durante 35 anos até 1985, quando o astrônomo Carl Sagan escreveu o seu romance *Contato* e quis incorporar um jeito de a heroína poder viajar até a estrela Vega. Isto exigiria uma jornada de ida e volta, na qual a moça viajaria até Vega e depois retornaria à Terra, algo que não seria possível com buracos de minhoca do tipo buracos negros. Ele foi se aconselhar com o físico Kip Thorne. Thorne chocou o mundo da física ao encontrar novas soluções para as equações de Einstein que permitiam viajar no tempo sem muitos dos problemas anteriores. Em 1988, com os colegas Michael Morris e Ulvi Yurtsever, Thorne mostrou que era possível construir uma máquina do tempo se alguém pudesse, de algum modo, obter formas estranhas de matéria e energia, como “matéria negativa exótica” e “energia negativa”. Os físicos, no início, não acreditaram nesta nova solução, já que ninguém vira matéria exótica, e a energia negativa só existia em quantidades mínimas. Mas era um avanço na nossa compreensão de viagens no tempo.

A grande vantagem da matéria negativa e da energia negativa é que elas possibilitavam a passagem por um buraco de minhoca, de modo que você pode fazer uma viagem de ida e volta sem ter de se preocupar com os horizontes de eventos. De fato, o grupo de Thorne descobriu que uma viagem em tal máquina do tempo seria bastante suave, comparada com o estresse enfrentado numa linha aérea comercial.

Um problema, entretanto, é que a matéria exótica (ou matéria negativa) tem propriedades bastante extraordinárias. Ao contrário da antimatéria (que se sabe existir e tende a cair no chão sob o campo gravitacional da Terra), a matéria negativa cai para cima, de modo que flutuará para cima na gravidade da Terra porque possui antigravidade. Ela é repelida, e não atraída, pela matéria comum e

por outra matéria negativa. Isto significa que é também muito difícil encontrá-la na natureza, se existir. Quando a Terra se formou há 4,5 bilhões de anos, qualquer matéria negativa sobre a Terra teria saído flutuando em direção ao espaço cósmico. Portanto, talvez houvesse matéria negativa flutuando no espaço, longe de qualquer planeta. (A matéria negativa provavelmente jamais atingirá uma estrela de passagem ou planeta, visto ser repelida pela matéria comum.)

Enquanto a matéria negativa jamais foi vista (e possivelmente não existe), a energia negativa é fisicamente possível, embora raríssima. Em 1933, Henrik Casimir mostrou que duas placas de metal paralelas sem carga podem criar energia negativa. Normalmente, seria de esperar que as duas placas permanecessem estacionárias porque não possuem carga. Entretanto, Casimir mostrou que existe uma força de atração muito pequena entre estas duas placas paralelas sem carga. Em 1948, esta minúscula força foi, na verdade, medida, mostrando que a energia negativa era uma possibilidade real. O efeito Casimir explora um aspecto bastante estranho do vácuo. Segundo a teoria quântica, o espaço vazio fervilha de “partículas virtuais” que dançam para dentro e para fora do nada. Esta violação da conservação de energia é possível por causa do princípio de incerteza de Heisenberg, que permite violações das queridas leis clássicas, desde que ocorram muito brevemente. Por exemplo, um elétron e um antielétron, devido à incerteza, têm uma pequena probabilidade de serem criados do nada e depois se aniquilarem mutuamente. Como as placas paralelas estão muito próximas uma da outra, estas partículas virtuais não podem facilmente estar entre as duas placas. Assim, como há mais partículas virtuais cercando as placas do que entre elas, isto cria uma força para dentro, vinda de fora, que empurra ligeiramente as placas, aproximando-as. Este efeito foi medido com precisão, em 1996, por Steven Lamoreaux no Laboratório Nacional de Los Alamos. A força de atração que ele mediu era minúscula (igual ao peso de 1/30.000 de um inseto, uma formiga, por exemplo). Quanto menor a separação das placas, maior a força de atração.

Portanto, eis como a máquina do tempo sonhada por Thorne poderia funcionar. Uma civilização avançada começaria com duas placas paralelas, separadas por um intervalo extremamente pequeno. Estas placas paralelas seriam então transformadas numa esfera, de modo que ela seja composta de uma casca interna e outra externa. Em seguida, seriam feitas duas dessas esferas e, de algum modo, se enfiaria um buraco de minhoca entre elas, conectando-as por um túnel no espaço. Cada esfera agora tapa uma entrada do buraco de minhoca.

Normalmente, o tempo bate sincronizado nas duas esferas. Mas se nós agora colocarmos uma esfera num foguete espacial que é lançado à velocidade da luz, o tempo no foguete vai demorar mais a passar, de modo que as duas esferas

deixam de estar sincronizadas. O relógio no foguete passa muito mais devagar do que o relógio na Terra. Então, se pular para dentro da esfera na Terra, alguém poderá ser sugado pelo buraco de minhoca que as conecta e acabar no outro foguete, em algum momento do passado. (Esta máquina do tempo, entretanto, não pode levá-lo de volta para uma época anterior à criação da própria máquina.)

PROBLEMAS COM A ENERGIA NEGATIVA

Embora a solução de Thorne fosse sensacional quando foi anunciada, havia graves obstáculos para a sua verdadeira criação, até para uma civilização avançada. Primeiro, é preciso obter uma grande quantidade de energia negativa, que é bastante rara. Esse tipo de buraco de minhoca depende de uma quantidade enorme de energia negativa para manter aberta a boca do buraco de minhoca. Se alguém criar energia negativa por efeito Casimir, que é muito pequeno, então o tamanho do buraco de minhoca teria de ser muito menor do que um átomo, tornando impraticável viajar por ele. Existem outras fontes de energia negativa além do efeito Casimir, mas todas são muito difíceis de manipular. Por exemplo, os físicos Paul Davies e Stephen Fulling provaram que se pode mostrar que um espelho movendo-se rapidamente é capaz de criar energia negativa, que vai se acumulando na frente do espelho à medida que ele se move. Infelizmente, é preciso mover o espelho a uma velocidade próxima da luz para obter energia negativa. E, como o efeito Casimir, a energia negativa criada é pequena.

Outro modo de extrair energia negativa é usar feixes de laser de alta potência. Dentro dos estados de energia do laser, existem “estados comprimidos”, nos quais coexistem energia positiva e negativa. Entretanto, este efeito também é muito difícil de manipular. Um pulso típico de energia negativa pode durar 10^{-15} segundos, seguido por um pulso de energia positiva. Separar estados de energia positiva de estados de energia negativa é possível, embora extremamente difícil. Eu discutirei este assunto no Capítulo 11.

Por fim, acontece que um buraco negro também tem energia negativa, próximo do seu horizonte de eventos. Como demonstrado por Jacob Bekenstein e Stephen Hawking, um buraco negro não é todo negro porque lentamente ele evapora energia.[9] Isto porque o princípio da incerteza possibilita a passagem de radiação através da enorme gravidade de um buraco negro. Mas, como um buraco negro em evaporação perde energia, o horizonte de eventos pouco a pouco fica menor com o tempo. Em geral, se matéria positiva (como uma estrela) é lançada num buraco negro, o horizonte de eventos se expande. Mas, se

lançarmos matéria negativa no buraco negro, o seu horizonte de eventos se contrairá. Por conseguinte, a evaporação de buraco negro cria energia negativa próxima do horizonte de eventos. (Há quem defenda a colocação da boca do buraco de minhoca perto do horizonte de eventos a fim de colher energia negativa. Entretanto, colher essa energia negativa seria dificílimo e muito perigoso, visto que você teria de estar perto demais do horizonte de eventos.)

Hawking demonstrou que, em geral, é necessária energia negativa para estabilizar todas as soluções de buraco de minhoca. O raciocínio é bastante simples. A energia positiva costuma criar uma abertura de buraco de minhoca que concentra matéria e energia. Assim, raios de luz convergem ao entrarem na boca do buraco de minhoca. Entretanto, se esses raios de luz saírem do outro lado, então, em algum ponto no centro do buraco de minhoca, os raios de luz deveriam perder o foco. Isso só pode acontecer se a energia negativa estiver presente. Além do mais, a energia negativa é repulsiva, o que é necessário para impedir o buraco de minhoca de entrar em colapso sob a gravidade. Portanto, a chave para construir uma máquina do tempo ou buraco de minhoca talvez seja encontrar quantidades suficientes de energia negativa para manter esta boca aberta e estável. (Muitos físicos mostraram que, na presença de grandes campos gravitacionais, os campos de energia negativa são muito comuns. Então, talvez um dia, a energia negativa gravitacional possa ser usada para acionar uma máquina do tempo.)

Outro obstáculo que uma dessas máquinas do tempo terá de enfrentar é: onde encontramos um buraco de minhoca? Thorne confiava no fato de que os buracos de minhoca ocorrem naturalmente, o que chamou de espuma do espaço-tempo. Isto faz retornar à pergunta do filósofo grego Zenão há mais de 2 mil anos: qual é a menor distância que se pode viajar?

Zenão um dia provou matematicamente que era impossível atravessar um rio. Ele primeiro observou que a distância de uma margem à outra do rio pode ser subdividida num número infinito de pontos. Mas como levava uma quantidade infinita de tempo para cruzar um número infinito de pontos, era, portanto, impossível cruzar o rio. Ou, por assim dizer, era impossível que qualquer coisa se movesse. (Seriam necessários mais de 2 mil anos, e o advento do cálculo, para que este quebra-cabeça finalmente ficasse resolvido. Pode-se demonstrar que é possível cruzar um número infinito de pontos numa quantidade finita de tempo, tornando o movimento matematicamente possível no final das contas.)

John Wheeler, de Princeton, analisou as equações de Einstein para encontrar a menor distância. Wheeler descobriu que em distâncias incrivelmente pequenas, da ordem do comprimento de Planck (10^{33} cm), a teoria de Einstein previa que a curvatura de espaço podia ser bastante grande. Em outras palavras, no

comprimento de Planck, o espaço não era nada plano, mas possuía uma grande curvatura – isto é, era torcido e "espumoso". O espaço fica encaroçado e, na verdade, espuma com minúsculas bolhas que disparam para dentro e para fora do vácuo. Até o espaço vazio, nas mínimas distâncias, está constantemente fervendo com bolhinhas de espaço-tempo, que são, na realidade, minúsculos buraquinhos de minhoca e universos-bebês. Normalmente, as "partículas virtuais" consistem de pares de elétron e antielétron que existem momentaneamente antes de se aniquilarem uns com os outros. Mas, na distância de Planck, bolhas minúsculas representam universos inteiros, e buracos de minhoca podem surgir, para rapidamente desaparecer de volta no vácuo. O nosso próprio universo talvez tenha começado como uma destas bolhinhas flutuando na espuma de espaço-tempo que de repente inflou por motivos que não compreendemos.

Visto que os buracos de minhoca são encontrados naturalmente na espuma, Thorne supôs que uma civilização avançada poderia, de alguma maneira, retirar os buracos de minhoca da espuma e depois estabilizá-los com energia negativa. Embora este seja um processo muito difícil, está dentro dos domínios das leis da física.

Apesar de a máquina do tempo de Thorne parecer teoricamente possível, ainda que dificílima de construir do ponto de vista da engenharia, resta uma terceira pergunta incômoda: a viagem no tempo infringe uma lei fundamental da física?

UM UNIVERSO NO SEU QUARTO DE DORMIR

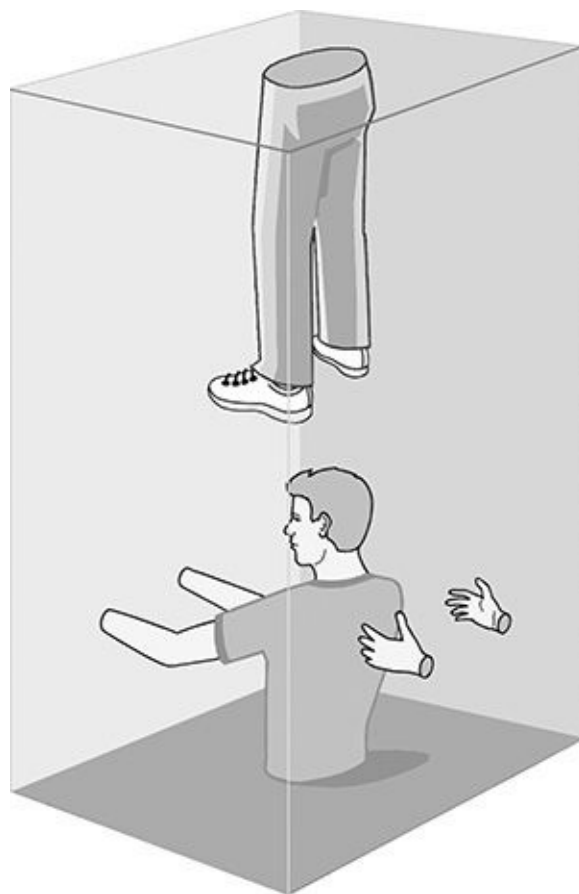
Em 1992, Stephen Hawking tentou resolver a questão da viagem no tempo de uma vez por todas. Instintivamente, ele era contra viagens no tempo; se passeios através do tempo fossem comuns como piqueniques de domingo, então veríamos turistas do futuro nos olhando embasbacados e tirando fotografias.

Mas os físicos gostam de citar o romance épico *O único e eterno rei*, de T. H. White, onde uma sociedade de formigas declara: "Tudo que não é proibido é compulsório."[10] Em outras palavras, se não existe um princípio básico proibindo viagens no tempo, então viajar no tempo é necessariamente uma possibilidade física. (A razão disto é o princípio da incerteza. A não ser que uma coisa seja proibida, os efeitos e flutuações quânticas acabarão tornando-a possível se esperarmos o tempo suficiente. Assim, a não ser que exista uma lei que a proíba, ela acabará acontecendo.) Em resposta, Stephen Hawking propôs

uma “hipótese de proteção da cronologia”, que impediria a viagem no tempo e, por conseguinte, “salvaguardaria a história para os historiadores”. De acordo com esta hipótese, a viagem no tempo não é possível porque infringe princípios físicos específicos.

Visto ser muito difícil trabalhar com soluções de buracos de minhoca, Hawking começou o seu argumento analisando um universo simplificado descoberto por Charles Misner, da Universidade de Maryland, que tinha todos os ingredientes da viagem no tempo. O espaço de Misner é um espaço idealizado no qual o seu quarto de dormir, por exemplo, se torna um universo inteiro. Digamos que cada ponto da parede esquerda do seu quarto seja idêntico ao ponto correspondente na parede da direita. Isto significa que se você caminhar em direção à parede esquerda, não vai quebrar o nariz, mas vai atravessar a parede e reaparecer na parede direita. Isto quer dizer que a parede esquerda e a direita estão unidas, de certo modo, como num cilindro.

Além disso, os pontos na parede em frente são idênticos aos pontos da parede dos fundos, e os pontos no teto são idênticos aos do chão. Assim, em qualquer direção que você caminhe, passa direto pelas paredes do seu quarto e retorna a ele. Você não pode escapar. Em outras palavras, o seu quarto realmente é um universo inteiro!

O que é realmente incrível é que, se você olhar bem para a parede esquerda, verá que ela é, na verdade, transparente e existe uma cópia-carbono do seu quarto do outro lado. De fato, existe um clone exato de você mesmo de pé no outro quarto, embora você só possa se ver de costas, jamais de frente. Se você olhar para baixo ou para cima, também verá cópias-carbono de você mesmo. De fato, existe uma sequência infinita de você mesmo de pé na frente, atrás, embaixo e em cima de você.

Num espaço de Misner, o universo inteiro está contido no seu quarto de dormir. Todas as paredes opostas se identificam; então, ao entrar por uma parede você imediatamente sai na parede oposta. O teto está igual mente identifica do com o chão. O espaço de Misner costuma ser estudado por que tem a mesma topologia de um buraco de minhoca, mas é muito mais simples de se lidar matematicamente. Se as paredes se movem, então a viagem no tempo poderia ser possível dentro do universo de Misner.

Fazer contato com você mesmo é muito difícil. Sempre que você vira a cabeça para ver o rosto dos clones, eles também se viram, e você nunca os vê. Mas se o seu quarto for pequeno o suficiente, você pode enfiar a mão pela parede e agarrar o ombro do clone na sua frente. Então você leva um susto ao descobrir que o clone atrás de você estendeu a mão e o agarrou pelo ombro também. Da mesma forma, você pode esticar os braços esquerdo e direto, agarrando os clones ao seu lado, até existir uma sequência infinita de você de mãos dadas. Com efeito, você deu a volta total no universo para pegar em você mesmo de novo. (Não se aconselha machucar os seus clones. Se você pegar uma arma e apontar para o clone na sua frente, é melhor pensar bem antes de puxar o gatilho, porque o clone atrás de você também está apontando uma arma na sua direção!)

No espaço de Misner, suponha que as paredes estejam colapsando ao seu redor. Agora, as coisas ficam interessantes. Digamos que o quarto esteja sendo

espremido, com a parede da direita lentamente aproximando-se de você a 3 quilômetros por hora. Se você atravessar a parede da esquerda, vai retornar da parede da direita em movimento, mas acelerado por uma velocidade adicional de 3 quilômetros por hora, de modo que agora está viajando a 6 quilômetros por hora. De fato, a cada vez que você faz um circuito completo através da parede da esquerda, você ganha mais 3 quilômetros por hora ao sair da parede da direita; assim, você está agora viajando a 9 quilômetros por hora. Depois de repetidas viagens ao redor do universo, você viaja a 9, 12, 15 quilômetros por hora, até gradualmente chegar a velocidades incríveis, próximas da velocidade da luz.

Num determinado ponto crítico, você está viajando tão rápido neste universo de Misner que volta no tempo. Na verdade, você pode visitar qualquer ponto anterior no espaço-tempo. Hawking analisou este espaço de Misner atentamente. Ele descobriu que a parede esquerda e a parede direita, matematicamente falando, são quase idênticas às duas bocas de um buraco de minhoca. Em outras palavras, o seu quarto parece um buraco de minhoca, onde a parede esquerda e a parede direita são as mesmas, semelhante às duas bocas de um buraco de minhoca, que também são idênticas.

Em seguida, ele observou que este espaço de Misner era instável, tanto pela mecânica clássica quanto pela mecânica quântica. Apontando uma lanterna acesa para a parede da esquerda, por exemplo, o feixe de luz ganha energia todas as vezes que sai da parede direita. O feixe de luz se torna desviado para o azul – isto é, torna-se mais energético, até atingir a energia infinita, o que é impossível. Ou o feixe de luz se torna tão energético que cria um campo gravitacional monstruoso que colapsa o quarto/buraco de minhoca. Assim, o buraco de minhoca colapsa se você tentar atravessá-lo. Também, pode-se mostrar que algo chamado tensor de energia-momento, que mede o conteúdo de energia e matéria do espaço, se torna infinito porque a radiação pode passar um número infinito de vezes pelas duas paredes.

Para Hawking, este foi o golpe de misericórdia para a viagem no tempo – os efeitos da radiação quântica acumulam-se até se tornarem infinitos, criando uma divergência, matando o viajante no tempo e fechando o buraco de minhoca.

Desde o trabalho de Hawking, a questão da divergência que ele levantou tem gerado uma discussão animada na literatura da física, com cientistas assumindo posições contra e a favor no que diz respeito à proteção cronológica. De fato, vários cientistas começaram a descobrir brechas na prova de Hawking, fazendo escolhas adequadas para buracos de minhoca, alterando o seu tamanho, comprimento e daí por diante. Descobriram que, em algumas soluções de buracos de minhoca, o tensor de energia-momento de fato divergia, mas, em outras, estava bem definido. O físico russo Sergei Krasnikov examinou esta

questão da divergência para diferentes tipos de buracos de minhoca e concluiu que “não existe um mínimo de evidência de que a máquina do tempo deva ser instável”.[11]

A maré havia oscilado tanto na direção oposta a Hawking que o físico de Princeton Li-Xin até propôs uma conjectura de proteção anticronológica: “Não existe nenhuma lei da física que impeça o aparecimento de curvas fechadas do tipo a tempo.”[12]

Em 1998, Hawking foi obrigado a recuar, de certa forma. Ele escreveu: “O fato de o tensor de energia-momento deixar de divergir [em certos casos] mostra que a reação de volta não força a proteção cronológica.” Isto não significa que a viagem no tempo seja possível, só que a nossa compreensão ainda é incompleta. O físico Matthew Visser vê o fracasso da conjectura de Hawking “não como uma justificativa para os entusiastas da viagem no tempo, mas como um indício de que para se resolver questões de proteção cronológica é preciso uma teoria de gravitação quântica bem desenvolvida”.[13]

Hoje, Hawking não diz mais que a viagem no tempo é totalmente impossível, só que ela é altamente improvável e nada prática. As probabilidades são esmagadoramente contra a viagem no tempo. Mas não se pode descartá-la de todo. Se alguém conseguir, de alguma forma, reunir uma grande quantidade de energia positiva e negativa e solucionar o problema da instabilidade, a viagem no tempo pode realmente ser possível. (E talvez não estejamos sendo invadidos por turistas do futuro porque a época mais distante a que eles podem voltar é quando a máquina do tempo foi criada, e talvez máquinas do tempo ainda não tenham sido criadas.)

A MÁQUINA DO TEMPO DE GOTT

Em 1991, J. Richard Gott III, de Princeton, propôs mais uma solução para as equações de Einstein, permitindo viajar no tempo. Sua abordagem era interessante porque ele partiu de uma visão totalmente nova, abandonando por completo objetos giratórios, buracos de minhoca e energia negativa.

Gott nasceu em Louisville, no Kentucky, em 1947, e ainda fala com delicado sotaque sulista que parece um tantinho exótico no mundo refinado e competitivo da física teórica. Ele estreou na ciência ainda criança, quando ingressou num clube de astrônomos amadores e gostava de olhar as estrelas.

No ginásio, ganhou o prestigiado concurso Westinghouse Science Talent Search e, desde então, tem estado associado a este concurso, atuando como

presidente da comissão julgadora por muitos anos. Depois de se formar em matemática, em Harvard, ele foi para Princeton, onde ainda trabalha.

Pesquisando temas relacionados com a cosmologia, ele começou a se interessar por “cordas cósmicas”, uma relíquia do Big Bang prevista por muitas teorias. As cordas cósmicas podem ter uma largura mais fina do que um núcleo atômico, mas a sua massa talvez seja estelar e elas talvez se estendam por milhões de anos-luz no espaço. Gott primeiro encontrou uma solução para as equações de Einstein que admitia cordas cósmicas. Mas aí ele percebeu algo inusitado nestas cordas cósmicas. Se você pegar duas cordas cósmicas e mandar uma na direção da outra, então, pouco antes de elas colidirem, é possível usar isto como uma máquina do tempo. Primeiro, ele descobriu que se você der a volta em torno das cordas cósmicas em colisão, o espaço se contraía, conferindo-lhe estranhas propriedades. Sabemos que se contornamos uma mesa, por exemplo, e voltarmos ao ponto de partida, teremos viajado 360 graus. Mas, quando um foguete viaja em torno das duas cordas cósmicas à medida que elas passam uma pela outra, ele, na verdade, viaja por menos de 360 graus, porque o espaço encolheu. (Isto tem a topologia de um cone. Se fizermos um círculo completo em torno de um cone, também veremos que viajamos menos de 360 graus.) Por conseguinte, ao passar rapidamente ao redor das duas cordas, você poderia, na verdade, superar a velocidade da luz (visto por um observador distante), já que a distância total era menor do que a esperada. Isto não infringe a relatividade especial, entretanto, porque em seu próprio referencial o seu foguete jamais supera a velocidade da luz.

Mas isto também significa que, se você viajar em torno de cordas cósmicas em colisão, poderá dar um passeio até o passado. Gott lembra: “Quando encontrei esta solução, fiquei muito animado. A solução usava apenas matéria de densidade positiva, movendo-se a velocidades mais lentas do que a da luz. Em contraste, as soluções de buraco de minhoca requerem material de densidade e energia negativa mais exótica (coisas que pesam menos do que nada).”[14]

Mas a energia necessária para uma máquina do tempo é enorme. “Para permitir a viagem no tempo até o passado, as cordas cósmicas com uma massa-por-unidade de comprimento de cerca de 10 milhões de bilhões de toneladas por centímetro devem, cada uma, mover-se em direções opostas a velocidades de no mínimo 99,999999996 por cento da velocidade da luz. Nós já observamos prótons de alta energia no universo movendo-se a esta velocidade, portanto, essas velocidades são possíveis”, observa ele.[15]

Alguns críticos observaram que as cordas cósmicas são raras, se existirem, e cordas cósmicas em colisão são ainda mais raras. Portanto, Gott propôs o

seguinte. Uma civilização avançada talvez encontre uma corda cósmica no espaço cósmico. Usando naves espaciais gigantescas e instrumentos enormes, eles poderiam transformar a corda num laço retangular ligeiramente curvo (com o formato semelhante ao de uma espreguiçadeira). O laço, ele formulou a hipótese, poderia colapsar sob a sua própria gravidade, de modo que dois pedaços retos da corda cósmica pudessem passar voando um pelo outro próximo à velocidade da luz, criando brevemente uma máquina do tempo. Não obstante, Gott admite: "Um laço de corda em colapso, grande o suficiente para permitir que você o circule uma vez e volte um ano no tempo, teria de ter mais da metade da massa-energia de uma galáxia inteira."[16]

O PARADOXO DO TEMPO

Tradicionalmente, outro motivo pelo qual os físicos descartaram a ideia de viagens no tempo foram os paradoxos de tempo. Por exemplo, se você voltar ao passado e matar seus pais antes de nascer, então o seu nascimento é impossível. Portanto, para início de conversa, você jamais poderia voltar ao passado e matar seus pais. Isto é importante, porque a ciência baseia-se em ideias logicamente coerentes; um paradoxo do tempo autêntico seria o bastante para descartar de todo a viagem no tempo.

Estes paradoxos podem ser agrupados em várias categorias:

> Paradoxo do avô. Aqui, você altera o passado de um modo que impossibilita o presente. Por exemplo, ao voltar a um passado distante para conhecer os dinossauros, você pisa sem querer num pequeno mamífero penugento que é o ancestral original da humanidade. Ao destruir o seu ancestral, você não pode logicamente existir.
>
> Paradoxo da informação. Neste, a informação vem do futuro, o que significa que pode não ter origem. Por exemplo, digamos que um cientista crie uma máquina do tempo e depois volte ao passado para contar o segredo da viagem no tempo para ele mesmo quando jovem. O segredo da viagem no tempo não teria origem, visto que a máquina do tempo que o jovem cientista possui não foi criada por ele; a sua informação é que lhe foi passada por um eu mais velho.
>
> Paradoxo de Bilker. Neste tipo de paradoxo, uma pessoa sabe como será o futuro e faz alguma coisa que o torna impossível. Por exemplo, você faz uma máquina do tempo para levá-lo até o futuro, e aí vê que

está destinado a se casar com uma mulher chamada Jane. Entretanto, só de farra, você resolve se casar com Helen, tornando assim o seu próprio futuro impossível.

O paradoxo sexual. Neste, você é o seu próprio pai, o que é uma impossibilidade biológica. Num conto do filósofo britânico Johnathan Harrison, o herói da história não só é o seu próprio pai, como também canibaliza a si próprio. No clássico conto de Robert Heinlein "All You Zombies" (Vocês todos Zumbis), o herói é simultaneamente a sua mãe, o pai, a filha e o filho – isto é, uma árvore genealógica voltada para ele mesmo. (Ver as notas para mais detalhes. Solucionar o paradoxo sexual é, na verdade, muito delicado, exigindo conhecimento, tanto sobre viagens no tempo quanto sobre a mecânica do DNA.)[17]

Em *O fim da eternidade*, Isaac Asimov imagina uma "polícia do tempo" que é responsável pela prevenção destes paradoxos. Os filmes da série *Exterminador do futuro* giram em torno de um paradoxo de informação – um microship recuperado de um robô do futuro é estudado por cientistas, que depois criam uma raça de robôs que adquirem consciência e conquistam o mundo. Em outras palavras, o projeto destes super-robôs jamais foi criado por um inventor; ele simplesmente veio de um pedaço que restou de um dos robôs do futuro. No filme *De volta para o futuro*, Michael J. Fox luta para evitar o paradoxo do avô quando volta no tempo e conhece a sua mãe adolescente, que logo se apaixona por ele. Mas, se ela rejeita as investidas do futuro pai de Fox, então a sua própria existência está ameaçada.

Os roteiristas estão sempre dispostos a infringir as leis da física ao fazerem sucessos de bilheteria de Hollywood. Mas, na comunidade da física, esses paradoxos são levados muito a sério. Qualquer solução para eles deve ser compatível com as teorias da relatividade e quântica. Por exemplo, para ser compatível com a relatividade, o rio do tempo simplesmente não pode terminar. Não se pode represar o rio do tempo. O tempo, na relatividade geral, é representado por uma superfície lisa, contínua, e não pode ser rompida ou rasgada. Ele pode mudar a topologia, mas não pode simplesmente parar. Isto significa que, se você matar os seus pais antes de nascer, não pode simplesmente desaparecer. Isto infringiria as leis da física.

Atualmente, os físicos estão se congregando em torno de duas soluções possíveis para estes paradoxos do tempo. Primeiro, o cosmólogo russo Igor Novikov acredita que somos obrigados a agir de forma a que não ocorram paradoxos. A sua abordagem é chamada de escola da autoconsistência. Se o rio do tempo curvar-se suavemente para trás sobre si mesmo e criar um redemoinho,

ele sugere que uma espécie de “mão invisível” interviria se fôssemos pular de volta no passado e estivéssemos prestes a criar um paradoxo do tempo. Mas a solução de Novikov apresenta problemas de livre-arbítrio. Se voltarmos no tempo e encontrarmos nossos pais antes de nascermos, poderíamos achar que temos livre-arbítrio sobre nossas ações; Novikov acredita que uma lei da física ainda não descoberta impede qualquer ação que vá mudar o futuro (tal como matar seus pais ou impedir o seu nascimento). Ele observa: “Não podemos mandar alguém de volta ao Jardim do Éden para pedir a Eva que não colha a maçã da árvore.”[18]

Que força misteriosa é essa que nos impede de alterar o passado e criar um paradoxo? “Tamanha limitação ao nosso livre-arbítrio é incomum e misteriosa, mas não totalmente sem paralelos”, escreve ele. “Por exemplo, posso desejar caminhar no teto sem ajuda de nenhum equipamento especial. A lei da gravidade me impede de fazer isto: vou cair se tentar; portanto, o meu livre-arbítrio é limitado.”[19]

Mas os paradoxos do tempo podem ocorrer quando matéria inanimada (sem nenhuma vontade) é lançada no passado. Vamos supor que pouco antes da histórica batalha entre Alexandre o Grande e Dario III da Pérsia, em 330 a.C., você mandasse metralhadoras para o passado, com instruções sobre o seu manejo. Você potencialmente mudaria toda a história da Europa subsequente (e talvez estivéssemos agora falando uma versão da língua persa em vez de uma língua europeia).

De fato, mesmo a mais diminuta perturbação do passado poderia causar paradoxos inesperados no presente. A teoria do caos, por exemplo, usa a metáfora do “efeito borboleta”. Em épocas críticas na formação do clima da Terra, até o bater das asas de uma borboleta envia ondulações que podem desequilibrar as forças e provocar uma forte tempestade. Até o menor dos objetos inanimados enviados ao passado inevitavelmente o mudará de um modo imprevisível, resultando num paradoxo do tempo.

Uma segunda maneira de solucionar o paradoxo do tempo é se o rio do tempo bifurcar-se suavemente em dois rios, ou braços, formando dois universos distintos. Em outras palavras, se você voltasse no tempo e atirasse nos seus pais antes de nascer, teria matado pessoas que são geneticamente iguais aos seus pais num outro universo, no qual você jamais nascerá. Mas os pais no seu universo original não seriam afetados.

Esta segunda hipótese é chamada de “teoria dos muitos mundos” – a ideia de que todos os mundos quânticos possíveis poderiam existir. Isto elimina as divergências infinitas encontradas por Hawking, visto que a radiação não

atravessa repetidamente o buraco de minhoca como no espaço de Misner. Ela atravessa apenas uma vez. Cada vez que ela passa por um buraco de minhoca, entra num universo novo. E este paradoxo resulta talvez na maior dúvida na teoria quântica: como um gato pode estar morto e vivo ao mesmo tempo?

Para responder a esta pergunta, os físicos têm sido obrigados a considerar duas soluções atrozes: ou existe uma consciência cósmica que nos vigia a todos ou, então, existe um número infinito de universos quânticos.[20]

CAPÍTULO SEIS

Universos Quânticos Paralelos

Penso que posso dizer com segurança que ninguém compreende a mecânica quântica.
– Richard Feynman

Quem não se chocar com a teoria quântica, não a compreende.
– Niels Bohr

O Impulso da Infinita Improbabilidade é um novo método maravilhoso de atravessar vastas distâncias interestelares num mero nadinha de segundo, sem toda aquela tediosa perda de tempo no hiperespaço.
– Douglas Adams

Em *Guia do mochileiro das galáxias*, de Douglas Adams, o romance de ficção científica irreverente e amalucado, sucesso de vendas nas livrarias, o herói encontra por acaso um método muito engenhoso de viajar até as estrelas. Em vez de usar buracos de minhoca, *hyperdrives* ou portais dimensionais para viajar entre galáxias, ele tem a ideia de utilizar o princípio da incerteza para se arremessar na vastidão do espaço intergaláctico. Se pudermos, de algum modo, controlar a probabilidade de certos eventos improváveis, então qualquer coisa, inclusive a viagem mais rápida do que a velocidade da luz, e até a viagem no tempo, é possível. Chegar a estrelas distantes em segundos é altamente improvável, mas quando se pode controlar as probabilidades quânticas à vontade, então até o impossível talvez se torne lugar-comum.

A teoria quântica baseia-se na ideia de que existe uma probabilidade de ocorrência de todos os eventos possíveis, não importa quão fantásticos ou tolos eles sejam. Esta, por sua vez, é a origem da teoria do universo inflacionário – quando ocorreu o Big Bang original, houve uma transição quântica para um novo estado no qual o universo de repente inflou enormemente. Todo o nosso universo, pelo visto, pode ter surgido de um salto quântico altamente improvável. Embora Adams escrevesse de brincadeira, nós, físicos, percebemos que se pudéssemos de algum modo controlar estas probabilidades, seria possível realizar feitos não muito diferentes da magia. Mas, por enquanto, alterar as probabilidades de eventos está bastante fora do alcance da nossa tecnologia.

Eu, às vezes, faço perguntas simples aos nossos alunos de doutorado na

universidade, tais como: calcular a probabilidade de que eles, de repente, se desintegrem e voltem a se materializar do outro lado de uma parede de tijolos. Segundo a teoria quântica, existe uma probabilidade pequena, porém calculável, de que isto aconteça. Ou, no caso, de que nós nos desintegrássemos na nossa sala de estar e fôssemos parar em Marte. De acordo com a teoria quântica, uma pessoa poderia, em princípio, voltar a se materializar de repente no planeta vermelho. É claro que a probabilidade é tão pequena que teríamos de esperar mais do que o tempo de existência do universo. Consequentemente, no nosso dia a dia, podemos descartar esses eventos improváveis. Mas, no nível subatômico, tais probabilidades são cruciais para o funcionamento de aparelhos eletrônicos, computadores e lasers.

Os elétrons, na verdade, se desmaterializam regularmente e se encontram rematerializados do outro lado de paredes dentro dos componentes do nosso computador ou CD. A civilização moderna, de fato, entraria em colapso se os elétrons não pudessem estar em dois lugares ao mesmo tempo. (As moléculas do nosso corpo também entrariam em colapso sem este princípio estranho. Imagine dois sistemas solares colidindo no espaço, obedecendo às leis da gravitação de Newton. Os sistemas solares em colisão colapsariam numa mistura caótica de planetas e asteroides. Do mesmo modo, se os átomos obedecessem às leis de Newton, eles se desintegrariam sempre que esbarrassem em outro átomo. O que mantém dois átomos trancados numa molécula estável é o fato de que os elétrons podem simultaneamente estar em tantos lugares ao mesmo tempo que formam uma “nuvem” de elétrons que une os átomos. Assim, a razão pela qual as moléculas são estáveis e o universo não se desintegra é que os elétrons podem estar em muitos lugares ao mesmo tempo.)

Mas, se os elétrons podem existir em estados paralelos pairando entre a existência e a não existência, então por que o universo não pode? Afinal de contas, num determinado momento, o universo foi menor do que um elétron. Uma vez introduzida a possibilidade de aplicarmos o princípio quântico ao universo, somos forçados a considerar a existência de universos paralelos.

É exatamente esta possibilidade que o perturbador romance de fantasia científica *O homem do castelo alto*, de Philip K. Dick, explora. No livro, existe um universo alternativo separado do nosso devido a um único evento essencial. Em 1933, neste universo, a história mundial muda quando a bala de um assassino mata o presidente Roosevelt durante o seu primeiro ano de mandato. O vice-presidente Garner assume e estabelece uma política de isolacionismo que enfraquece os Estados Unidos militarmente. Despreparados para o ataque a Pearl Harbor, e incapazes de se recuperar da destruição de toda a sua frota, em 1947 os Estados Unidos são obrigados a se render aos alemães e japoneses. Os Estados

Unidos, no final, são divididos em três partes, com o Reich alemão controlando a Costa Leste, os japoneses controlando a Costa Oeste e um amortecedor incômodo no meio: os estados das Montanhas Rochosas. Neste universo paralelo, um misterioso indivíduo escreve um livro, chamado *O gafanhoto torna-se pesado*, baseado num versículo da Bíblia, que é proibido pelos nazistas. O livro fala de um universo alternativo no qual Roosevelt não foi assassinado e os Estados Unidos, com a Grã-Bretanha, derrotaram os nazistas. A missão da heroína na história é ver se existe alguma verdade num universo alternativo no qual prevaleçam a democracia e a liberdade, em vez de tirania e racismo.

ALÉM DA IMAGINAÇÃO

O mundo de *O homem do castelo alto* e o nosso mundo estão separados apenas pelo menor dos incidentes, uma única bala de um assassino. Entretanto, também é possível que um mundo paralelo possa estar separado do nosso pelo menor evento possível: um único evento quântico, o impacto de um raio cósmico.

Em um dos episódios da série de TV *Além da imaginação*, um homem acorda e descobre que sua mulher não o reconhece. Ela grita para que ele saia antes que chame a polícia. Passeando pela cidade, ele vê que seus velhos amigos também não o reconhecem, como se nunca tivesse existido. Finalmente, ele visita a casa de seus pais e fica abaladíssimo. Os pais afirmam que nunca o viram antes e que nunca tiveram um filho. Sem amigos, família ou lar, ele vaga ao léu pela cidade e acaba adormecendo num banco de praça, como um sem-teto. Ao acordar no dia seguinte, ele se encontra confortavelmente de novo na cama com a mulher. Mas, quando ela se vira, ele fica chocado ao ver que não é a sua mulher, mas uma estranha que ele nunca viu na vida.

É possível uma história tão absurda? Talvez. Se o protagonista de *Além da imaginação* tivesse feito algumas perguntas reveladoras a sua mãe, talvez tivesse descoberto que ela sofreu um aborto e, portanto, nunca teve um filho. Às vezes um único raio cósmico, uma única partícula do espaço cósmico, pode atingir profundamente o DNA de um embrião e provocar uma mutação que levará a um aborto. Neste caso, um único evento quântico pode separar dois mundos, um no qual você vive como um cidadão normal e produtivo, e outro que é exatamente idêntico, exceto que nele você nunca nasceu.

Escorregar entre estes mundos *está* dentro das leis da física. Mas é extremamente improvável; a chance de que isto aconteça é astronomicamente pequena. Mas, como você pode ver, a teoria quântica nos dá um quadro do

universo mais estranho do que aquele que nos deu Einstein. Na relatividade, o palco da vida no qual representamos pode ser feito de borracha, com os atores viajando em caminhos curvos à medida que se movem de um ponto a outro do cenário. Como no mundo de Newton, os atores do mundo de Einstein papagueiam as suas frases de um roteiro que foi escrito com antecedência. Mas, numa peça quântica, os atores de repente jogam fora o roteiro e agem por sua própria conta. As marionetes cortam as suas cordas. O livre-arbítrio estabeleceu-se. Os atores podem desaparecer do palco e depois reaparecer. Ainda mais estranho, eles podem aparecer em dois lugares ao mesmo tempo. Os atores, ao dizerem as suas falas, jamais sabem, com certeza, se estão ou não falando com alguém que poderia de repente desaparecer e reaparecer em outro lugar.

A MENTE COLOSSAL: JOHN WHEELER

Com exceção talvez de Einstein e Bohr, nenhum homem lutou mais com os absurdos e sucessos da teoria quântica do que John Wheeler. Toda a realidade física será apenas uma ilusão? Universos quânticos existem? No passado, quando não estava matutando sobre estes paradoxos quânticos complicados, Wheeler aplicava estas probabilidades construindo bombas atômicas e de hidrogênio, e desbravando o estudo de buracos negros. John Wheeler é o último dos gigantes, ou “mentes colossais”, como seu aluno Richard Feynman certa vez o chamou, que se engalfinharam com as insanas conclusões da teoria quântica.

Foi Wheeler quem cunhou o termo “buraco negro”, em 1967, numa conferência no Instituto Goddard de Estudos Espaciais, da Nasa, na cidade de Nova York, depois da descoberta dos primeiros pulsares.[1]

Wheeler nasceu em 1911, em Jacksonville, na Flórida. O pai era bibliotecário, mas a engenharia estava no sangue. Três dos seus tios eram engenheiros de minas e costumavam usar explosivos no seu trabalho. A ideia de usar dinamite o fascinava, e ele adorava assistir às explosões. (Um dia, ele estava testando um pedaço de dinamite sem tomar muito cuidado, e ela acidentalmente explodiu na sua mão, arrancando o polegar e a ponta de um dos dedos. Por coincidência, quando Einstein estava na faculdade, uma explosão semelhante aconteceu na sua mão por um descuido, e ele levou vários pontos.)

Wheeler foi uma criança precoce, dominando o cálculo e devorando todos os livros que pudesse encontrar sobre a nova teoria de que seus amigos tanto falavam: a mecânica quântica. Bem diante dos seus olhos, uma nova teoria estava sendo desenvolvida na Europa por Niels Bohr, Werner Heisenberg e

Erwin Schrödinger, que de repente desvendava os segredos do átomo. Poucos anos antes, seguidores do filósofo Ernst Mach zombaram da existência de átomos, afirmando que eles nunca haviam sido observados em laboratório e provavelmente eram uma ficção. O que não se podia ver não devia existir, alegavam eles. O grande físico alemão Ludwig Boltzmann, que formulou as leis da termodinâmica, suicidou-se em 1906, em parte devido ao intenso ridículo que enfrentou ao falar de átomos.

Então, em poucos e significativos anos, de 1925 a 1927, os segredos do átomo foram se desvendando. Jamais na história moderna (exceto no ano de 1905, com o trabalho de Einstein) avanços desta magnitude haviam sido realizados em tão pouco tempo. Wheeler queria participar desta revolução. Mas ele percebeu que os Estados Unidos estavam na contramão da física; não havia um único físico de classe mundial entre os seus cientistas. Como J. Robert Oppenheimer antes dele, Wheeler deixou os Estados Unidos e foi para Copenhague aprender com o mestre em pessoa, Niels Bohr.

Experimentos anteriores com elétrons demonstraram que eles agiam tanto como uma partícula como uma onda. Esta estranha dualidade entre partículas e ondas foi finalmente desemaranhada pelos físicos quânticos: o elétron, na sua dança ao redor do átomo, aparecia como uma partícula, mas estava acompanhado por uma onda misteriosa. Em 1925, o físico austríaco Erwin Schrödinger propôs uma equação (a famosa equação de onda de Schrödinger) que descrevia com precisão o movimento da onda que acompanha o elétron. Esta onda, representada pela letra grega *psi*, fazia previsões surpreendentemente exatas para o comportamento dos átomos, e fez-se uma revolução na física. De repente, quase a partir dos primeiros princípios, podia-se espiar dentro do átomo em si e calcular como os elétrons dançavam em suas órbitas, fazendo transições e unindo átomos em moléculas.

Como alardeava o físico quântico Paul Dirac, a física em breve reduziria toda a química a mera engenharia. Ele proclamava: “As leis físicas fundamentais necessárias para a teoria matemática de grande parte da física e de toda a química são, por conseguinte, totalmente conhecidas, e a dificuldade é só que a aplicação destas leis conduzem a equações muito complicadas para que possam ser resolvidas.”[2] Por mais espetacular que fosse esta função *psi*, o que ela realmente representava continuava sendo um mistério.

Finalmente, em 1928, o físico Max Born propôs a ideia de que esta função de onda representava a probabilidade de encontrar o elétron em qualquer ponto determinado. Em outras palavras, você jamais saberia exatamente onde estava um elétron; a única coisa que você poderia fazer era calcular a sua função de onda, que o informa sobre a probabilidade de ele estar ali. Portanto, se a física

atômica podia ser reduzida a ondas de probabilidade de um elétron estar aqui ou ali, e se um elétron poderia aparentemente estar em dois lugares ao mesmo tempo, como nós finalmente determinaríamos onde o elétron está de verdade?

Bohr e Heisenberg acabaram formulando o conjunto completo de receitas num livro de cozinha quântica, que funcionou muito bem e com magnífica precisão nas experiências atômicas. A função de onda só fala da probabilidade de que o elétron esteja localizado aqui ou ali. Se a função de onda é grande num determinado ponto, isso quer dizer que existe uma grande probabilidade de que o elétron esteja ali. (Se for muito pequena, então é pouco provável que o elétron possa ser encontrado ali.) Por exemplo, se pudéssemos "ver" a função de onda de uma pessoa, ela se pareceria extraordinariamente com a própria pessoa. Entretanto, a função de onda também se infiltra suavemente no espaço, o que significa que existe uma pequena probabilidade de que a pessoa possa ser encontrada na Lua. (Na verdade, a função de onda da pessoa se espalha por todo o universo.)

Isto também significa que a função de onda de uma árvore pode lhe dizer a probabilidade de que ela esteja de pé ou caindo, mas não pode lhe dizer com certeza em que estado se encontra realmente. Mas o bom senso nos diz que os objetos estão em estados definidos. Quando você olha uma árvore, ela está definitivamente na sua frente – de pé ou caída no chão, mas não as duas coisas ao mesmo tempo.

Para solucionar a discrepância entre ondas de probabilidade e a nossa noção de existência baseada no bom senso, Bohr e Heisenberg supuseram que depois que um observador externo faz uma medida, a função de onda, como num passe de mágica, "colapsa", e o elétron cai num estado definido – isto é, depois de olhar a árvore, vemos que ela está realmente de pé. *Em outras palavras, o processo de observação determina o estado final do elétron.* A observação é vital para a existência. Depois de olharmos o elétron, a sua função de onda colapsa, de modo que o elétron está agora num estado definido e não há mais necessidade de funções de onda.

Portanto, os postulados da escola de Copenhague, de Bohr, em linhas gerais, podem ser resumidos assim:

> a. Toda a energia aparece em pacotes definidos, chamados quanta. (O quantum da luz, por exemplo, é o fóton. Os quanta da força fraca são chamados de bósons-W e Z, o quantum da gravitação forte é chamado de glúon e o quantum da gravitação é chamado de gráviton, que ainda está para ser descoberto em laboratório.)
>
> b. A matéria é representada por partículas pontuais, mas a

probabilidade de se encontrar a partícula é dada por uma onda. A onda, por sua vez, obedece a uma equação de onda específica (como a equação de onda de Schrödinger).
c. Antes de ser feita uma observação, um objeto existe em todos os estados possíveis simultaneamente. Para determinar em que estado o objeto está, temos que fazer uma observação, que "colapsa" a função de onda, e o objeto entra num estado definido. O ato de observar destrói a função de onda, e o objeto agora assume uma realidade definida. A função de onda serviu ao seu propósito: ela nos deu a probabilidade exata de se encontrar o objeto nesse estado particular.

DETERMINISMO OU INCERTEZA?

A teoria quântica é a mais bem-sucedida teoria de todos os tempos. A mais importante formulação da teoria quântica é o Modelo Padrão, que representa o fruto de décadas de experimentos com aceleradores de partículas. Partes desta teoria foram testadas na razão de uma parte para 10 bilhões. Incluindo a massa do neutrino, o Modelo Padrão é coerente com todos os experimentos com partículas subatômicas, sem exceção.

Mas não importa o sucesso da teoria quântica, experimentalmente ela se baseia em postulados que desencadearam tempestades de controvérsias filosóficas e teológicas durante os últimos oitenta anos. O segundo postulado, em particular, despertou a ira de religiosos porque pergunta quem decide o nosso destino. Ao longo dos tempos, filósofos, teólogos e cientistas têm estado fascinados com o futuro e com a possibilidade, ou não, de conhecermos os nossos destinos. Na peça *Macbeth*, de Shakespeare, Banquo, desesperado para erguer o véu que oculta o nosso destino, pronuncia os versos memoráveis:

> *Se for capaz de olhar dentro das sementes do tempo*
> *E dizer qual dos grãos brotará e qual não brotará,*
> *Mostre-me quais são...*
> *(ato I, cena 3)*

Shakespeare escreveu estas palavras em 1606. Oitenta anos depois, outro inglês, Isaac Newton, teve a audácia de afirmar que sabia a resposta para essa antiga pergunta. Tanto Newton quanto Shakespeare acreditavam no conceito chamado determinismo, que diz que todos os acontecimentos futuros podem, em princípio, ser determinados. Para Newton, o universo era um gigantesco relógio a que Deus deu corda no início dos tempos. Desde então, ele funciona,

obedecendo a suas três leis do movimento, de um modo exatamente previsível. O matemático francês Pierre Simon de Laplace, que foi conselheiro de Napoleão para assuntos científicos, escreveu que, usando as leis de Newton, era possível prever o futuro com a mesma precisão com que se vê o passado. Ele escreveu que, se um ser pudesse saber a posição e velocidade de todas as partículas no universo, “para essa inteligência, nada poderia ser incerto; e o futuro, assim como o passado, estaria presente diante de seus olhos”.[3] Quando Laplace presenteou Napoleão com um exemplar da sua obra-prima, *Mecânica celeste*, o imperador disse: “O senhor escreveu esta obra imensa sobre os céus sem mencionar uma única vez o nome de Deus.” Laplace respondeu: “Senhor, essa hipótese não me foi necessária.”

Para Newton e Einstein, a noção de livre-arbítrio, de que somos donos do nosso destino, era uma ilusão. A esta noção prática de realidade, de que os objetos concretos que tocamos são reais e existem em estados definidos, Einstein chamou de “realidade objetiva”. Ele apresentou a sua posição com muita clareza:

> Sou um determinista, compelido a agir como se existisse o livre-arbítrio, porque se desejo viver numa sociedade civilizada, devo agir com responsabilidade. Sei que, do ponto de vista filosófico, um assassino não é responsável por seus crimes, mas prefiro não tomar chá com ele. Minha carreira foi determinada por várias forças sobre as quais não tenho controle, basicamente aquelas misteriosas glândulas nas quais a natureza prepara a própria essência da vida. Henry Ford pode chamar a isto de a sua Voz Interior, Sócrates referia-se a elas como o seu demônio: cada homem explica do seu jeito o fato de que a vontade humana não é livre... Tudo está determinado... por forças sobre as quais não temos controle... para o inseto, assim como para as estrelas. Seres humanos, vegetais, ou poeira cósmica, dançam todos num ritmo misterioso, entoado ao longe por um músico invisível.[4]

Os teólogos também lutaram com esta questão. A maioria das religiões do mundo acredita em alguma forma de predestinação, a ideia de que Deus não só é onipotente (todo-poderoso) e onipresente (está em toda a parte), mas também onisciente (sabe tudo, até o futuro). Em algumas religiões, isto significa que Deus sabe se vamos para o céu ou para o inferno antes mesmo de nascermos. Em essência, existe um “livro do destino” em algum lugar no céu com todos os nossos nomes relacionados, inclusive nossas datas de nascimento, nossos fracassos e triunfos, nossas alegrias e nossas derrotas, até a data da nossa morte, e se vamos viver no paraíso ou na danação eterna.

(Esta delicada questão teológica da predestinação ajudou, em parte, a dividir a Igreja católica, em 1517, quando Martinho Lutero pregou as 95 teses na igreja de Wittenberg. Nelas, ele atacava a prática da Igreja de vender indulgências – essencialmente subornos que preparavam o caminho dos ricos até o céu. Talvez, Lutero parecia estar dizendo, Deus sabe o nosso futuro com antecedência e nossos destinos estão predestinados, mas Deus não pode ser convencido a mudar de ideia com uma simpática doação à Igreja.)

Mas para os físicos que aceitam o conceito de probabilidade, o postulado mais controvertido até agora é o terceiro, que deu dores de cabeça a gerações de físicos e filósofos. “Observação” é um conceito vago, mal definido. Além do mais, ele se baseia no fato de que existem, na verdade, dois tipos de física: um para o bizarro mundo subatômico, onde elétrons aparentemente podem estar em dois lugares ao mesmo tempo, e o outro para o mundo macroscópico em que vivemos, que parece obedecer às leis baseadas no senso comum de Newton.

Segundo Bohr, existe uma “parede” invisível separando o mundo atômico do mundo macroscópico familiar de todos os dias. Enquanto o mundo atômico obedece às regras bizarras da teoria quântica, vivemos a vida do lado de fora dessa parede, no mundo de planetas e estrelas bem definidos, onde as ondas já colapsaram.

Wheeler, que aprendeu mecânica quântica com seus criadores, gostava de resumir as duas escolas de pensamento sobre esta questão. Ele dá o exemplo de três árbitros numa partida de beisebol discutindo os detalhes do jogo. Ao tomarem uma decisão, os três árbitros dizem:

> Número 1: Eu os chamo como eu os vejo.
> Número 2: Eu os chamo como eles *são*.
> Número 3: Eles não são *nada* até eu os chamar.[5]

Para Wheeler, o segundo árbitro é Einstein, que acreditava haver uma realidade absoluta fora da experiência humana. Einstein chamava a isto de “realidade objetiva”, a ideia de que os objetos podem existir em estados definidos sem a intervenção humana. O terceiro árbitro é Bohr, que argumentava que a realidade existia apenas depois que se fazia uma observação.

ÁRVORES NA FLORESTA

Os físicos, às vezes, olham os filósofos com um certo desdém, citando o romano Cícero: “Não há nada tão absurdo que não tenha sido dito por filósofos.” O matemático Stanislaw Ulam, que não acreditava em dar nomes pomposos a conceitos tolos, certa vez disse: “Loucura é a capacidade de fazer distinções precisas sobre tipos diferentes de absurdo.”[6] O próprio Einstein uma vez escreveu sobre filosofia: “Não parece toda a filosofia ter sido escrita sobre o mel? Parece maravilhosa quando se olha, mas olhando de novo ela desapareceu. Resta apenas uma papa.”[7]

Os físicos também gostam de citar a história apócrifa, supostamente contada

pelo diretor de uma universidade, exasperado ao ver o orçamento para os departamentos de física, matemática e filosofia. Dizem que ele falou: “Por que vocês físicos sempre precisam de equipamentos tão caros? O Departamento de Matemática não precisa mais do que dinheiro para papel, lápis e cestas de lixo, e o Departamento de Filosofia é melhor ainda. Não pede nem cestas para papel.”[8]

Entretanto, os filósofos podem ainda rir por último. A teoria quântica está incompleta e baseia-se em fundamentos filosóficos instáveis. Esta controvérsia quântica obriga a que se examine os trabalhos de filósofos como o bispo Berkeley, que, no século XVIII, afirmou que os objetos existem apenas porque os homens estão ali para observá-los, uma filosofia chamada solipsismo ou idealismo. Se uma árvore cai na floresta, mas ninguém está ali para ver, então ela na realidade não caiu, afirmam eles.

Agora temos uma reinterpretação quântica de árvores caindo na floresta. Antes de ser feita uma observação, você não sabe se ela caiu ou não. De fato, a árvore existe em todos os estados possíveis simultaneamente: ela pode estar queimada, caída, ser lenha para fogueira, serragem e outras coisas mais. Uma vez feita uma observação, então a árvore de repente salta para um estado definido, e vemos que ela caiu, por exemplo.

Comparando a dificuldade filosófica da relatividade e da teoria quântica, Feynman, certa vez, comentou: “Houve um tempo em que os jornais diziam que apenas doze homens compreendiam a teoria da relatividade. Não acredito que esse tempo existiu... Por outro lado, penso que posso dizer com segurança que ninguém compreende a mecânica quântica.”[9] Ele escreve que a mecânica quântica “descreve a natureza como absurda do ponto de vista do bom senso. E isso está plenamente de acordo com os experimentos. Portanto, espero que vocês possam aceitar a natureza como ela é – absurda”.[10] Isto gerou uma sensação constrangedora entre muitos físicos praticantes, que se sentem como se estivessem criando mundos inteiros em areia movediça. Steven Weinberg escreve: “Reconheço algum desconforto em trabalhar a minha vida inteira numa estrutura teórica que ninguém compreende totalmente.”[11]

Na ciência tradicional, o observador tenta se manter imparcialmente desligado do mundo o máximo possível. (Conforme um gaiato disse: “É sempre possível reconhecer um cientista num bar de striptease, porque ele é o único que olha para a plateia.” Mas agora, pela primeira vez, vemos que é impossível separar o observador do observado. Conforme Max Planck notou certa vez: “A ciência não pode solucionar o mistério supremo da natureza. E é porque, em última análise, nós mesmos fazemos parte do mistério que estamos tentando resolver.”[12]

O PROBLEMA DO GATO

Erwin Schrödinger, que introduziu pela primeira vez a equação de onda, achou que isto estava indo longe demais. Ele confessou a Bohr que se arrependia de ter proposto o conceito de onda, se ele introduzia o conceito de probabilidade na física.

Para derrubar a ideia de probabilidades, ele propôs um experimento. Imagine um gato fechado numa caixa. Dentro da caixa, tem uma garrafa de gás venenoso, ligada a um martelo que, por sua vez, está ligada a um contador Geiger colocado perto de um pedaço de urânio. Ninguém discute que o decaimento radioativo do átomo de urânio é puramente um evento quântico que não pode ser previsto com antecedência. Digamos que exista 50 por cento de probabilidade de um átomo de urânio decair no próximo segundo. Mas, se um átomo de urânio decai, ele dispara o contador Geiger, que dispara o martelo, que quebra o vidro, matando o gato. Antes de você abrir a caixa, é impossível dizer se o gato está morto ou vivo. Na verdade, para descrever o gato, os físicos adicionam a função de onda do gato vivo e do gato morto – isto é, colocamos o gato num outro mundo em que ele está 50 por cento morto e 50 por cento vivo, simultaneamente.

Agora abra a caixa. Quando espiamos lá dentro, uma observação é feita, a função de onda colapsa, e vemos que o gato está, digamos, vivo. Para Schrödinger, isto era besteira. Como um gato pode estar morto e vivo ao mesmo tempo, só porque você não o viu? Ele passa a existir de repente, assim que você o observa? Einstein também não gostou desta interpretação. Sempre que recebia convidados na sua casa, ele dizia: vejam a lua. Ela passa a existir de repente quando um camundongo olha para ela? Einstein acreditava que a resposta era não. Mas, em certo sentido, a resposta poderia ser sim.

As coisas finalmente se definiram em 1930, num embate histórico na Conferência de Solvay, entre Einstein e Bohr. Wheeler mais tarde comentaria que foi o maior debate da história intelectual de que ele teve notícia. Em trinta anos, nunca tinha ouvido falar de um debate entre dois homens tão inteligentes, sobre um assunto tão profundo, com consequências tão graves para a compreensão do universo.

Einstein, sempre corajoso, ousado e extremamente eloquente, propôs um bombardeio de “experimentos pensados” para derrubar a teoria quântica. Bohr, que resmungava sem parar, ficava vacilante depois de cada ataque. O físico Paul Ehrenfest observou: “Para mim foi maravilhoso presenciar os diálogos entre Bohr e Einstein, como um jogador de xadrez, sempre com novos exemplos. Uma espécie de móbile perpétuo do segundo tipo, concentrado em romper a incerteza. Bohr sempre saindo de uma fumaça filosófica, buscando os instrumentos para

destruir um exemplo após o outro. Einstein como uma caixinha de surpresas, saltando novinho em folha todas as manhãs. Ah, foi maravilhoso. Mas eu sou francamente a favor de Bohr e contra E. Ele agora se comporta com relação a Bohr exatamente como os defensores da simultaneidade absoluta se comportaram com relação a ele."[13]

Finalmente, Einstein propôs um experimento que ele pensou que daria o golpe de misericórdia na teoria quântica. Imagine uma caixa contendo um gás de fótons. Se a caixa tem um obturador, ela pode liberar por um breve espaço de tempo um único fóton. Visto que se pode medir a velocidade do obturador com exatidão, e também medir a energia do fóton, é possível determinar o estado do fóton com precisão infinita, infringindo assim o princípio da incerteza.

Ehrenfest escreveu: "Para Bohr, isso foi uma bordoada. No momento, ele não viu nenhuma solução. Passou a noite toda na maior infelicidade, indo de uma pessoa para outra, tentando convencê-las de que isto não podia ser verdade, porque, se E. estava certo, seria o fim da física. Mas ele não conseguia pensar numa resposta. Jamais esquecerei a visão dos dois adversários saindo do clube da universidade. Einstein, uma figura majestosa, caminhando calmamente com um leve sorriso irônico, e Bohr trotando ao seu lado, aborrecidíssimo."[14]

Quando Ehrenfest mais tarde encontrou Bohr, ele estava mudo; não fazia outra coisa além de resmungar sempre a mesma palavra, "Einstein... Einstein... Einstein".

No dia seguinte, depois uma intensa noite de insônia, Bohr achou uma pequena falha no argumento de Einstein. Depois de emitir o fóton, a caixa ficava ligeiramente mais leve, visto que matéria e energia são equivalentes. Isto significava que a caixa subia um pouquinho sob a gravidade, porque energia tem peso, segundo a teoria da gravitação do próprio Einstein. Mas isto introduzia uma incerteza na energia do fóton. Calculando-se a incerteza no peso e a incerteza na velocidade do obturador, via-se que a caixa obedecia exatamente ao princípio da incerteza. Com efeito, Bohr tinha usado a teoria da gravidade do próprio Einstein para contestar Einstein! Bohr saíra vitorioso. Einstein, derrotado.

Quando Einstein mais tarde queixou-se de que "Deus não joga dados com o mundo", dizem que Bohr retrucou: "Pare de dizer a Deus o que fazer." Por fim, Einstein reconheceu que Bohr havia refutado com sucesso os seus argumentos. Einstein escreveria: "Estou convencido de que esta teoria, sem dúvida, contém uma parte da verdade definitiva."[15] (Einstein, entretanto, desprezava os físicos que não avaliavam os sutis paradoxos inerentes à teoria quântica. Certa vez, ele escreveu: "Claro, hoje qualquer velhaco acha que sabe a resposta, mas ele está se

iludindo.”)[16]

Depois deste e de outros debates ferozes com físicos quânticos, Einstein finalmente desistiu, mas adotou uma abordagem diferente. Ele reconheceu que a teoria quântica estava correta, mas só dentro de um certo domínio, só como uma aproximação da verdade real. Do mesmo modo que a relatividade generalizava (mas não destruía) a teoria de Newton, ele queria incorporar a teoria quântica a uma teoria mais geral, mais eficaz, a teoria de campo unificada.

(Este debate, entre Einstein e Schrödinger de um lado, e Bohr e Heisenberg de outro, não pode ser facilmente descartado, visto que estes “experimentos pensados” podem agora ser realizados em laboratório. Embora os cientistas não possam fazer um gato aparecer ao mesmo tempo morto e vivo, eles podem hoje manipular átomos individuais com a nanotecnologia. Recentemente, estes experimentos impressionantes foram feitos com uma Buckyball [uma nanomolécula em forma de bola de futebol] contendo sessenta átomos de carbono, de modo que a “parede” imaginada por Bohr, separando objetos grandes de objetos quânticos, está rapidamente desmoronando. Físicos experimentais estão agora até imaginando o que seria necessário para mostrar que um vírus, que consiste de milhares de átomos, possa estar em dois lugares ao mesmo tempo.)

A BOMBA

Infelizmente, as discussões sobre estes deliciosos paradoxos foram interrompidas com a ascensão de Hitler ao poder, em 1933, e a corrida para construir uma bomba atômica. Sabia-se, havia tempo, com a famosa equação de Einstein, $E = mc^2$, que o átomo armazenava dentro de si uma imensa fonte de energia. Mas os físicos, na sua maioria, fizeram pouco caso da ideia de um dia serem capazes de utilizar esta energia. Até Ernest Rutherford, o homem que descobriu o núcleo do átomo, disse: “A energia produzida pela cisão do átomo é muito fraca. Quem espera uma fonte de energia da transformação destes átomos está fantasiando.”[17]

Em 1939, Bohr fez uma viagem decisiva aos Estados Unidos, aterrissando em Nova York para encontrar o seu aluno John Wheeler. Trazia notícias sinistras: Otto Hahn e Lise Meitner tinham mostrado que o núcleo de urânio podia ser partido ao meio, liberando energia, num processo chamado fissão. Bohr e Wheeler começaram a formular a dinâmica quântica da fissão nuclear. Visto que tudo na teoria quântica é uma questão de probabilidade e acaso, eles estimaram a

probabilidade de que um nêutron rompesse o núcleo de urânio, liberando dois ou mais nêutrons, que, em seguida, fissionariam ainda mais núcleos de urânio, que depois liberariam ainda mais nêutrons, e assim por diante, detonando uma reação em cadeia capaz de devastar uma cidade moderna. (Na mecânica quântica, nunca se sabe se um determinado nêutron irá cindir um átomo de urânio, mas pode-se calcular com incrível exatidão a probabilidade de que bilhões de átomos de urânio irão se dividir produzindo uma bomba. Este é o poder da mecânica quântica.)

Os cálculos quânticos dos dois indicavam que uma bomba atômica talvez fosse possível. Dois meses depois, Bohr, Eugene Wigner, Leo Szilard e Wheeler reuniram-se no velho gabinete de Einstein, em Princeton, para discutir as perspectivas de uma bomba atômica. (Poucos anos depois, Szilard convenceria Einstein a escrever a carta decisiva ao presidente Roosevelt, insistindo com ele para construir a bomba atômica.)

Naquele mesmo ano, os nazistas, conscientes de que a catastrófica liberação de energia do átomo de urânio poderia lhes dar uma arma invencível, ordenaram ao aluno de Bohr, Heisenberg, a criação de uma bomba atômica para Hitler. Da noite para o dia, as discussões sobre a probabilidade quântica da fissão se tornaram mortalmente sérias, com o destino da história humana em jogo. As discussões sobre a probabilidade de encontrar gatos vivos logo seriam substituídas por discussões sobre a probabilidade de cindir o urânio.

Em 1941, com os nazistas invadindo a maior parte da Europa, Heisenberg fez uma viagem secreta para encontrar o antigo mentor, Bohr, em Copenhague. A exata natureza do encontro continua sendo um mistério, e peças de teatro premiadas foram escritas a respeito, com historiadores ainda debatendo o seu conteúdo. Heisenberg estaria se oferecendo para sabotar a bomba atômica nazista? Ou Heisenberg estaria tentando recrutar Bohr para a bomba nazista? Seis décadas mais tarde, em 2002, boa parte do mistério sobre as intenções de Heisenberg finalmente foram desfeitas, quando a família de Bohr publicou uma carta escrita por Bohr a Heisenberg, na década de 1950, mas que nunca foi enviada. Nessa carta, Bohr lembrava que Heisenberg tinha dito no encontro que uma vitória nazista era inevitável. Já que não havia como impedir a força destruidora nazista, era apenas lógico que Bohr trabalhasse para os nazistas.[18]

Bohr ficou pasmo, abaladíssimo. Trêmulo, ele se recusou a permitir que o seu trabalho sobre a teoria quântica caísse nas mãos dos nazistas. Como a Dinamarca estava sob controle deles, Bohr planejou uma fuga secreta e quase morreu sufocado pela falta de oxigênio na viagem de avião em busca da liberdade.

Enquanto isso, na Universidade de Columbia, Enrico Fermi havia mostrado que uma reação nuclear em cadeia era viável. Depois de chegar a esta conclusão,

ele deu uma espiada pela cidade de Nova York e percebeu que uma única bomba poderia destruir tudo que ele via na famosa silhueta de prédios. Wheeler, vendo o grande risco que agora estavam correndo, voluntariamente saiu de Princeton e se juntou a Fermi no porão de Stagg Field, na universidade de Chicago, onde juntos construíram o primeiro reator nuclear, inaugurando, oficialmente, a era nuclear.

Nos dez anos seguintes, Wheeler foi testemunha de alguns dos desenvolvimentos mais importantes na guerra atômica. Durante a guerra, ele ajudou a supervisionar a construção do imenso Hanford Reservation, no estado de Washington, que criou o plutônio bruto necessário para fazer as bombas que arrasariam Nagasaki. Anos depois, ele trabalhou na bomba de hidrogênio, testemunhando uma primeira explosão, em 1952, e a devastação causada quando um pedaço do Sol foi solto sobre uma pequena ilha no Pacífico. Mas, depois de estar na linha de frente da história mundial por mais de uma década, ele finalmente retornou ao seu primeiro amor, os mistérios da teoria quântica.

SOMA DE CAMINHOS

Um membro da legião de alunos de Wheeler depois da guerra foi Richard Feynman, que topou com o jeito talvez mais simples, porém mais profundo, de abstrair as complexidades da teoria quântica. (Uma consequência desta ideia conquistaria para Feynman o prêmio Nobel de 1965.) Digamos que você queira atravessar um quarto a pé. Segundo Newton, você pegaria simplesmente o caminho mais curto, do ponto A para o ponto B, chamado de caminho clássico. Mas, segundo Feynman, primeiro você teria de considerar todos os possíveis caminhos que ligam os pontos A e B. Isto significa considerar caminhos que levam você até Marte, Júpiter, a estrela mais próxima, até caminhos que voltam no tempo, de volta para o Big Bang. Não importa o quanto estes caminhos sejam loucos ou bizarros, você deve considerá-los. Em seguida, Feynman atribuiu um número para cada caminho, dando um conjunto preciso de regras para calculá-lo. Milagrosamente, ao somar estes números de todos os caminhos possíveis, você encontrou a probabilidade de caminhar do ponto A ao ponto B dada pela mecânica quântica padrão. Isto foi realmente notável.

Feynman descobriu que a soma destes números dos caminhos que eram bizarros, e infringiam as leis de movimento de Newton, em geral se anulavam e davam um pequeno resultado. Esta foi a origem das flutuações quânticas – isto é, elas representavam caminhos cuja soma era muito pequena. Mas ele também

descobriu que o caminho newtoniano usual era o que não se anulava e, portanto, tinha o total maior; era o caminho com a maior probabilidade. Assim, a nossa noção lógica do universo físico é simplesmente o estado mais provável entre um número infinito de estados. Mas nós coexistimos com todos os estados possíveis, alguns dos quais nos levam de volta à era dos dinossauros, à supernova mais próxima e aos limites do universo. (Estes caminhos bizarros criam minúsculos desvios dos caminhos usuais newtonianos ditados pelo bom senso, mas felizmente têm uma probabilidade muito pequena associada a eles.)

Em outras palavras, por mais estranho que pareça, todas as vezes que você atravessa o quarto, de algum modo o seu corpo "fareja" todos os caminhos possíveis com antecedência, mesmo aqueles que se estendem até quasares distantes e o Big Bang, e depois os soma. Usando uma matemática poderosa chamada integrais funcionais, Feynman mostrou que o caminho newtoniano é simplesmente o caminho mais provável, não o único. Num esforço matemático, Feynman conseguiu provar que este quadro, por mais surpreendente que possa parecer, é exatamente o equivalente da mecânica quântica comum. (De fato, Feynman foi capaz de dar uma derivação da equação de onda de Schrödinger usando esta abordagem.)

O poder da "soma de caminhos" de Feynman é que hoje, quando formulamos as teorias GUT, inflação, e até a teoria das cordas, usamos o ponto de vista da "integral de caminho" de Feynman. Este método é ensinado em todas as faculdades do mundo e é, de longe, o meio mais eficaz e conveniente de formular a teoria quântica.

(Eu uso a abordagem da integral de caminho de Feynman todos os dias nas minhas pesquisas. Todas as equações que escrevo são escritas em termos destas somas de caminhos. Quando ouvi falar pela primeira vez do ponto de vista de Feynman, ainda quando aluno de graduação, mudei todo o meu quadro mental do universo. Intelectualmente, eu compreendia a matemática abstrata da teoria quântica e da relatividade geral, mas foi a ideia de que estou de certo modo farejando caminhos que me levam a Marte ou a estrelas distantes, ao atravessar o quarto, que alterou a minha visão de mundo. De repente, eu tinha uma estranha e nova imagem mental de mim mesmo vivendo num mundo quântico. Comecei a perceber que a teoria quântica é muito mais estranha do que as consequências atordoantes da relatividade.)

Quando Feynman desenvolveu esta estranha formulação, Wheeler, que estava na Universidade de Princeton, correu para o Instituto de Estudos Avançados ao lado para visitar Einstein e convencê-lo da elegância e poder deste novo quadro. Wheeler, empolgado, explicou a Einstein a nova teoria de integrais de caminho de Feynman. Wheeler não percebeu muito bem o quanto isto deve ter soado

como uma tremenda maluquice para Einstein. Depois disso, Einstein balançou a cabeça e repetiu que não acreditava que Deus jogasse dados com o mundo. Einstein admitiu para Wheeler que podia estar errado, mas também insistiu que havia conquistado o direito de estar errado.

O AMIGO DE WIGNER

A maioria dos físicos dá de ombros e levanta as mãos para os céus quando confrontada com os atordoantes paradoxos da mecânica quântica. Para os físicos mais experientes, a mecânica quântica é um conjunto de regras culinárias que produzem as probabilidades certas com incrível precisão. Como disse o físico que virou padre, John Polkinhorne: "A mecânica quântica média não é mais filosófica do que a mecânica de motores média."[19]

No entanto, alguns dos pensadores mais sérios no campo da física vêm lutando com estas questões. Por exemplo, existem várias maneiras de solucionar o problema do gato de Schrödinger. A primeira, defendida pelo prêmio Nobel Eugene Wigner e outros, é a de que a *consciência determina a existência*. Wigner escreveu que "não era possível formular as leis da mecânica quântica de uma forma totalmente coerente, sem referência à consciência [do observador]... o próprio estudo do mundo exterior levava à conclusão de que o conteúdo da consciência é a suprema realidade".[20] Ou, como escreveu certa vez o poeta John Keats: "Nada jamais se torna real até ser experimentado."[21]

Mas se eu faço uma observação, o que existe para determinar em que estado eu estou? Isto significa que alguém mais tem de me observar para colapsar a minha função de onda. Isto, às vezes, se chama "o amigo de Wigner". Mas também significa que alguém tem de observar o amigo de Wigner, e o amigo do amigo de Wigner, e daí por diante. Existe uma consciência cósmica que determina toda a sequência de amigos observando todo o universo?

Um físico que acredita tenazmente no papel central da consciência é Andrei Linde, um dos fundadores do universo inflacionário.

> Para mim, como um ser humano, não vejo sentido algum pelo qual eu possa afirmar que o universo está aqui na ausência de observadores. Estamos juntos, o universo e nós. No momento em que você diz que o universo existe sem qualquer observador, não posso entender isso. Não posso imaginar uma teoria de tudo coerente que ignore a consciência. Um aparelho de gravação não pode representar o papel de um observador, pois alguém lerá o que está escrito neste aparelho de gravação. Para vermos algo acontecer, e para dizermos uns aos outros que algo acontece, é preciso ter um universo, é preciso ter um aparelho de gravação e é preciso ter a nós... Na ausência de observadores, nosso universo está morto.[22]

Segundo a filosofia de Linde, os fósseis de dinossauros realmente não existem até que você os veja. Mas quando você olha para eles, eles passam a existir como se tivessem existido há milhões de anos. (Os físicos que sustentam este ponto de vista têm o cuidado de mostrar que este quadro é experimentalmente coerente com um mundo no qual fósseis de dinossauro têm milhões de anos de idade.)

(Algumas pessoas, que não gostam de introduzir a consciência na física, afirmam que uma câmera pode fazer a observação de um elétron, portanto, funções de onda podem colapsar sem recorrer a seres conscientes. Mas, então, quem vai dizer se a câmera existe? Outra câmera é necessária para "observar" a primeira câmera e colapsar a sua função de onda. Depois uma segunda câmera é necessária para observar a primeira câmera, e uma terceira para observar a segunda, *ad infinitum*. Assim, introduzir câmeras não responde à pergunta de como as funções de onda colapsam.)

DECOERÊNCIA

Um meio de resolver em parte algumas destas espinhosas questões filosóficas, que está ganhando popularidade entre os físicos, chama-se decoerência. Foi formulada pelo físico alemão Dieter Zeh, em 1970. Ele notou que, no mundo real, você não pode separar o gato do ambiente. O gato está em constante contato com as moléculas de ar, a caixa e até com os raios cósmicos que passam através do experimento. Estas interações, por menores que sejam, afetam radicalmente a função de onda: se a função de onda for minimamente perturbada, então a função de onda repentinamente se divide em duas funções de onda distintas, do gato morto e do gato vivo, que não interagem mais. Zeh mostrou que a colisão com uma única molécula de ar era o bastante para colapsá-la, forçando a separação permanente das funções de onda do gato morto e a do gato vivo, que não podem mais se comunicar uma com a outra. Em outras palavras, mesmo antes de você abrir a caixa, o gato esteve em contato com moléculas de ar e portanto já está morto ou vivo.

Zeh fez a observação fundamental que havia sido desprezada: para o gato estar ao mesmo tempo morto e vivo, a função de onda do gato morto e a função de onda do gato vivo precisam estar vibrando numa sincronia quase exata, um estado chamado coerência. Mas, experimentalmente, isto é quase impossível. Criar objetos coerentes vibrando em uníssono no laboratório é dificílimo. (Na prática, é difícil conseguir mais do que um punhado de átomos vibrando

coerentemente por causa da interferência do mundo exterior.) No mundo real, os objetos interagem com o ambiente, e a mais leve interação com o mundo exterior pode perturbar as duas funções de onda, e então elas começam a "decoerenciar" – isto é, sair de sincronia e separar. Uma vez que as duas funções de onda não estão mais vibrando em fase uma com a outra, mostrou Zeh, as duas funções de onda não mais interagem mutuamente.

MUITOS MUNDOS

À primeira vista, a decoerência soa muito satisfatória, visto que a função de onda agora colapsa, não pela conscientização, mas por interações aleatórias com o mundo exterior. Mas isto ainda não soluciona a questão fundamental que preocupava Einstein: como a natureza "escolhe" em que estado colapsar? Quando uma molécula de ar atinge o gato, quem ou o que determina o estado final do gato? Sobre esta questão, a teoria da decoerência simplesmente afirma que as duas funções de onda se separam e não interagem mais, mas não responde à questão original: o gato está morto ou vivo? Em outras palavras, a decoerência torna a consciência desnecessária na mecânica quântica, mas não resolve a questão-chave que perturbava Einstein: como a natureza "escolhe" o estado final do gato? Sobre esta questão, a teoria da decoerência se cala.

Existe, entretanto, uma extensão natural da decoerência que resolve esta questão e que está ganhando aceitação hoje entre os físicos. O pioneiro desta segunda abordagem foi outro aluno de Wheeler, Hugh Everett III, que discutiu a possibilidade de que talvez o gato pudesse estar morto e vivo ao mesmo tempo, mas em dois universos diferentes. Quando a tese de doutorado de Everett foi concluída em 1957, quase ninguém notou. Ao longo dos anos, entretanto, o interesse pela interpretação de "muitos mundos" começou a crescer. Hoje, desencadeou-se uma verdadeira onda de interesse renovado pelos paradoxos da teoria quântica.

Nesta interpretação radicalmente nova, o gato está ao mesmo tempo vivo e morto porque o universo se dividiu em dois. Num dos universos, o gato está morto; no outro, está vivo. Na verdade, em cada conjuntura quântica, o universo se divide ao meio, numa sequência interminável de universos dividindo-se. Todos os universos são possíveis neste cenário, um tão real quanto o outro. As pessoas que vivem num universo podem protestar vigorosamente dizendo que o universo *delas* é o real, e que todos os outros são imaginários ou falsos. Estes universos paralelos não são mundos fantasmas com uma existência efêmera;

dentro de cada universo, temos a aparência de objetos sólidos e acontecimentos concretos tão reais e objetivos como em qualquer outro.

A vantagem desta interpretação é que podemos abandonar a condição número três, o colapso da função de onda. Funções de onda jamais colapsam, elas simplesmente continuam evoluindo, para sempre dividindo-se em outras funções de onda, numa árvore infinita, com cada um dos ramos representando um universo inteiro. A grande vantagem da teoria dos muitos mundos é que ela é mais simples do que a interpretação de Copenhague: não requer colapso da função de onda. O preço que pagamos é que agora temos universos que continuamente se dividem em milhões de ramos. (Há quem ache difícil compreender como acompanhar todos estes universos proliferantes. Entretanto, a equação de onda de Schrödinger faz isto automaticamente. Ao traçar a evolução da equação de onda, acha-se de imediato todos os numerosos ramos da onda.)

Se tal interpretação estiver correta, então, neste mesmo instante, o nosso corpo coexiste com as funções de onda de dinossauros envolvidos num combate mortal. Coexistindo no ambiente em que você se encontra, está a função de onda de um mundo onde os alemães ganharam a Segunda Guerra Mundial, onde alienígenas do espaço cósmico passeiam, onde você nunca nasceu. Os mundos de *O homem do castelo alto* e *Além da imaginação* estão entre os universos existentes na sua sala de estar. A dificuldade é que não podemos mais interagir com eles, visto que já ocorreu a decoerência de nós.

Como disse Alan Guth: "Existe um universo onde Elvis ainda vive."[23] O físico Franck Wilczek escreveu: "Somos obcecados pela consciência de que infinitas cópias ligeiramente diferentes de nós mesmos estão vivendo suas vidas paralelas e que a cada momento mais duplicatas passam a existir e assumem nossos muitos futuros alternativos."[24] Ele observa que a história da civilização grega, e portanto do mundo ocidental, talvez tivesse sido diferente não fosse Helena de Troia de uma beleza tão cativante, se pelo contrário ela tivesse uma verruga feia na ponta do nariz. "Ora, verrugas podem surgir de mutações em células isoladas, muitas vezes detonadas pela exposição aos raios ultravioleta do sol." Ele continua: "Conclusão: existem muitos, muitos mundos nos quais Helena de Troia *tinha* uma verruga na ponta do nariz."

Lembro da passagem do clássico de ficção científica de Olaf Stapledon, *Star Maker*: "Sempre que uma criatura se via diante de vários cursos possíveis de ação, ela tomava todos, criando por conseguinte muitas... histórias distintas do cosmo. Visto que em todas as sequências evolutivas do cosmo havia muitas criaturas e todas estavam constantemente diante de muitos caminhos possíveis, e as combinações de todos os cursos eram inúmeras, uma infinidade de universos

distintos desfolhavam-se de todos os momentos de todas as sequências temporais."[25]

A mente dá voltas quando percebemos que, de acordo com esta interpretação de mecânica quântica, todos os mundos possíveis coexistem conosco. Embora os buracos de minhoca possam ser necessários para chegar a esses mundos alternativos, estas realidades quânticas existem no mesmo quarto em que vivemos. Elas coexistem conosco para onde quer que vamos. A questão-chave é: se isto é verdade, por que não vemos estes universos alternativos enchendo a nossa sala de estar? É aí que entra a decoerência: a nossa função de onda tornou-se decoerente destes outros mundos (isto é, as ondas não estão mais em fase umas com as outras). Não estamos mais em contato com elas. Isto significa que mesmo a mais leve contaminação com o ambiente impedirá que as várias funções de onda interajam mutuamente. (No Capítulo 11 menciono uma possível exceção a esta regra, na qual seres inteligentes talvez sejam capazes de viajar entre realidades quânticas.)

Parece estranho demais para ser possível? O prêmio Nobel Steven Weinberg compara a teoria de universo múltiplo com o rádio. Por toda a parte, cercando você, existem centenas de ondas de rádio diferentes sendo emitidas de estações distantes. Num determinado instante, o seu escritório, o seu carro ou a sua sala de estar se enchem destas ondas de rádio. Entretanto, se você ligar um rádio, vai ouvir apenas uma frequência de cada vez; as outras frequências fizeram a decoerência e não estão mais em fase umas com as outras. Cada estação tem uma energia diferente, uma frequência diferente. Consequentemente, o seu rádio só pode estar sintonizado numa estação de cada vez.

Da mesma forma, no nosso universo estamos "sintonizados" numa frequência que corresponde à realidade física, mas existe um número infinito de realidades paralelas coexistindo conosco na mesma sala, embora não possamos "sintonizá-las". Não obstante estes mundos sejam muito parecidos, cada um tem uma energia diferente. E, como cada mundo consiste em trilhões e mais trilhões de átomos, isto quer dizer que a diferença de energia pode ser bem grande. Visto que a frequência destas ondas é proporcional a sua energia (pela lei de Planck), isto significa que as ondas de cada mundo vibram em frequências diferentes e não podem mais interagir. Para todos os efeitos, as ondas destes vários mundos não interagem ou se influenciam mutuamente.

O curioso é que os cientistas, ao adotarem este estranho ponto de vista, podem rederivar todos os resultados da abordagem de Copenhague sem nunca terem de colapsar as funções de onda. Em outras palavras, experimentos feitos com a interpretação de Copenhague, ou a interpretação dos muitos mundos, darão exatamente os mesmos resultados experimentais. O colapso de função de onda

de Bohr é matematicamente equivalente à contaminação com o ambiente. Explicando melhor, o gato de Schrödinger pode estar morto e vivo ao mesmo tempo se pudermos, de algum modo, isolar o gato da possível contaminação de todos os átomos e raios cósmicos. É claro que, na prática, isto é impossível. Uma vez estando o gato em contato com um raio cósmico, as funções de onda do gato morto e do gato vivo fazem a decoerência, e parece que a função de onda colapsou.

IT FROM BIT

Com todo este renovado interesse pelo problema de medida na teoria quântica, Wheeler se tornou a grande autoridade científica em física quântica, aparecendo em numerosas conferências em sua homenagem. Ele até foi saudado como uma espécie de guru pelos defensores da Nova Era, fascinados com a questão da consciência na física. (Entretanto, ele nem sempre está satisfeito com essas associações. Certa vez, ficou angustiado por se ver no mesmo programa com três parapsicólogos. Ele rapidamente emitiu uma declaração que incluía a frase "Onde tem fumaça, tem fumaça".)[26]

Depois de setenta anos contemplando os paradoxos da teoria quântica, Wheeler é o primeiro a admitir que não tem todas as respostas. Ele continua questionando as suas hipóteses. Quando indagado sobre o problema da medida na mecânica quântica, ele diz: "Isto está me deixando maluco. Confesso que, às vezes, levo 100 por cento a sério a ideia de que o mundo é uma fantasia da imaginação e, outras vezes, que o mundo existe lá fora independente de nós. Entretanto, concordo sinceramente com as palavras de Leibniz: 'Este mundo talvez seja um fantasma e a existência não passe de um sonho, mas este sonho ou fantasma para mim é bastante real se, usando bem a razão, nunca formos iludidos por ele.'"[27]

Hoje, a teoria dos muitos mundos/decoerência está ganhando popularidade entre os físicos. Mas Wheeler preocupa-se que ela "exija um excesso muito grande de bagagem". Ele está brincando com mais uma explicação para o problema do gato de Schrödinger. Ele chama esta teoria de "*It from bit*". É uma teoria não ortodoxa, que começa com a hipótese de que a informação está na raiz de toda a existência. Quando olhamos a Lua, uma galáxia ou um átomo, as suas essências, ele afirma, estão na informação armazenada dentro deles. Mas esta informação passou a existir quando o universo observou a si mesmo. Ele desenha um diagrama circular, representando a história do universo. No início do

universo, ele começou a existir porque foi observado. Isto significa que "it" (matéria no universo) começou a existir quando a informação ("bit") do universo foi observada. Ele chama a isto de "universo participativo" – a ideia de que o universo se adapta a nós do mesmo modo que nós nos adaptamos ao universo, que a nossa própria presença torna o universo possível. (Como não existe um consenso universal sobre o problema da medida na mecânica quântica, a maioria dos físicos adota com relação a isto a atitude de esperar sentado para ver o que acontece.)

COMPUTAÇÃO QUÂNTICA E TELETRANSPORTE

Essas discussões filosóficas podem parecer totalmente inúteis, sem nenhuma aplicação prática no nosso mundo. Em vez de debater quantos anjos podem dançar na cabeça de um alfinete, os físicos quânticos parecem estar debatendo em quantos lugares um elétron pode estar ao mesmo tempo.

Entretanto, estes não são devaneios ociosos de acadêmicos em torres de marfim. Um dia, eles talvez tenham a aplicação mais prática de todas: impulsionar a economia mundial. Um dia, a riqueza de nações inteiras talvez dependa das sutilezas do gato de Schrödinger. A essa altura, talvez os nossos computadores estejam computando em universos paralelos. Quase toda a nossa infraestrutura de computador hoje está baseada em transistores de silício. A lei de Moore, que diz que a capacidade dos computadores duplica a cada dezoito meses, é possível graças a nossa capacidade de gravar transistores cada vez menores em chips de silício por meio de feixes de radiação ultravioleta. Embora a lei de Moore tenha revolucionado a paisagem tecnológica, ela não pode continuar para sempre. O chip Pentium mais avançado tem uma camada de vinte átomos de diâmetro. Dentro de quinze ou vinte anos, os cientistas poderão estar calculando em camadas talvez de cinco átomos de diâmetro. A estas distâncias incrivelmente pequenas, temos de abandonar a mecânica newtoniana e adotar a mecânica quântica, onde o princípio de incerteza de Heisenberg domina. Consequentemente, nós não sabemos mais exatamente onde está o elétron. Isto significa que curtos-circuitos ocorrerão à medida que os elétrons flutuarem do lado de fora de isolantes e semicondutores em vez de ficarem dentro deles.

No futuro, chegaremos aos limites de gravar em wafers de silício. A Era do Silício em breve chegará ao fim. Talvez entre na era quântica. O Vale do Silício se tornará um Cinturão de Ferrugem. Um dia, talvez sejamos obrigados a computar nos próprios átomos, introduzindo uma nova arquitetura da

computação. Os computadores, hoje, são baseados no sistema binário – cada número é baseado em zero e um. Os átomos, entretanto, podem ter o seu *spin* apontado para cima, para baixo, ou de lado, simultaneamente. Bits de computador (0s e 1s) poderiam ser substituídos por “qubits” (qualquer coisa entre o 0 e o 1), tornando a computação quântica muito mais poderosa do que os computadores comuns.

Um computador quântico, por exemplo, poderia abalar os alicerces da segurança internacional. Hoje, grandes bancos, empresas multinacionais e nações industriais codificam seus segredos com complexo algoritmos de computador. Levaria séculos, por exemplo, para um computador comum fatorar um número contendo uma centena de dígitos. Mas, para um computador quântico, esses cálculos podem ser facílimos; eles poderiam quebrar os códigos secretos das nações do mundo.

Para ver como um computador quântico funcionaria, digamos que alinhássemos uma série de átomos, com seus *spins* apontando numa direção num campo magnético. Em seguida, apontamos para eles um feixe de raios laser, de modo que muitos dos *spins* deem um piparote quando o laser refletir nos átomos. Ao medir a luz laser refletida, registramos uma operação matemática complexa, a dispersão da luz dos átomos. Se calcularmos este processo usando a teoria quântica, segundo Feynman, devemos somar todas as possíveis posições dos átomos, girando em todas as direções possíveis. Até um cálculo quântico simples, que levaria uma fração de segundo, seria quase impossível num computador comum, não importa quanto tempo tivesse disponível.

Em princípio, como acentuou David Deutch, de Oxford, isto significa que ao usarmos computadores quânticos teremos de somar todos os universos paralelos possíveis. Embora não possamos fazer contato direto com estes universos alternativos, um computador atômico poderia calculá-los usando os estados de *spin* existentes nos universos paralelos. (Embora não estejamos mais coerentes com os outros universos na nossa sala de estar, os átomos num computador atômico estão, por construção, vibrando coerentemente em uníssono.)

Não obstante o potencial de computadores quânticos estar, na verdade, dando os seus primeiros passos hesitantes, na prática, os problemas são igualmente enormes. No presente, o recorde mundial para o número de átomos usados num computador quântico é sete. Na melhor das hipóteses, podemos multiplicar três por cinco, ou conseguir quinze num computador quântico, nada tão importante. Para um computador quântico competir até com um laptop comum, precisaríamos de centenas, talvez milhões de átomos vibrando coerentemente. Como até a colisão com uma única molécula de ar poderia fazer os átomos perderem a coerência, seriam necessárias condições extraordinariamente limpas

para isolar dos ambientes os átomos de teste. (A construção de um computador quântico que excedesse a velocidade de computadores modernos exigiria milhares a milhões de átomos; portanto, a computação quântica ainda está a décadas de distância.)

TELETRANSPORTE QUÂNTICO

Pode haver outra aplicação prática para a discussão aparentemente despropositada dos físicos sobre universos quânticos paralelos: o teletransporte quântico. O "transportador" usado em *Jornada nas estrelas* e em outros programas de ficção científica para transportar pessoas e equipamentos através do espaço parece um meio maravilhoso de cruzar velozmente distâncias enormes. Por mais fantástico que pareça, entretanto, a ideia de teletransporte deixou os físicos perplexos porque parece infringir o princípio da incerteza. Ao fazer uma medida num átomo, você perturba o estado do átomo, e, portanto, é impossível fazer uma cópia perfeita.

Mas os cientistas encontraram uma brecha neste argumento em 1993, através de algo chamado emaranhado quântico. Este se baseia num antigo experimento proposto em 1935, por Einstein e seus colegas Boris Podolsky e Nathan Rosen (o chamado paradoxo EPR), para mostrar a loucura que a teoria quântica é na verdade. Digamos que haja uma explosão, e dois elétrons voem em direções opostas, viajando à velocidade próxima da luz. Como os elétrons podem girar como piões, suponha que os piões estejam correlacionados – isto é, se um elétron tem o seu eixo de rotação apontado para cima, o outro elétron está girando para baixo (de modo que o *spin* total seja zero). Antes de fazermos uma medida, entretanto, não sabemos em que direção cada elétron está girando.

Agora espere muitos anos. A essa altura, os dois elétrons estarão muitos anos-luz distantes um do outro. Se agora medirmos o *spin* de um elétron e descobrirmos que o seu eixo de rotação aponta para cima, então, na mesma hora, sabemos que o outro elétron está girando para baixo (e vice-versa). Na verdade, o fato de o elétron ser visto girando para cima *força* o outro elétron a girar para baixo. Isto significa que agora sabemos algo a respeito de um elétron muitos anos-luz distante, imediatamente. (A informação, pelo que parece, viajou mais rápido do que a velocidade da luz, em aparente violação da relatividade especial de Einstein.) Através de um raciocínio sutil, Einstein poderia mostrar que, ao fazer sucessivas medições de um par, podia-se violar o princípio da incerteza. Mais importante, ele mostrou que a mecânica quântica é mais estranha do que

qualquer pessoa já havia pensado.)

Até então, os físicos acreditavam que o universo era local, que as perturbações em uma parte do universo só se espalhavam localmente a partir da origem. Einstein mostrou que a mecânica quântica é essencialmente *não local* – perturbações a partir de uma origem podem instantaneamente afetar partes distantes do universo. Einstein chamou a isto de uma "ação a distância fantasmagórica", que ele achava um absurdo. Por conseguinte, pensou Einstein, a teoria quântica devia estar errada.

(Os críticos da mecânica quântica poderiam resolver o paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen supondo que, se nossos instrumentos fossem bastante sensíveis, poderiam realmente determinar em que sentido os elétrons estavam girando. A aparente incerteza do *spin* e da posição de um elétron era uma ficção, pelo fato de nossos instrumentos serem rudimentares demais. Eles introduziram o conceito das chamadas variáveis ocultas – isto é, deve haver uma teoria *sub*quântica oculta, na qual não existe nenhuma incerteza, baseada em novas variáveis chamadas de variáveis ocultas.)

As chances aumentaram muito em 1964, quando o físico John Bell submeteu o paradoxo EPR e as variáveis ocultas à prova dos nove. Ele mostrou que, se alguém fizesse o experimento EPR, deveria haver uma correlação numérica entre os *spins* dos dois elétrons, dependendo da teoria que fosse usada. Se a teoria da variável oculta estivesse correta, como os céticos acreditavam, então os *spins* deveriam estar correlacionados de um modo. Se a mecânica quântica estivesse correta, os *spins* estariam correlacionados de outra maneira. Explicando melhor, a mecânica quântica (o fundamento de toda a moderna física atômica) ascenderia e cairia baseada em um único experimento.

Mas os experimentos provaram que Einstein estava errado de forma conclusiva. No início de 1980, Alan Aspect e colegas, na França, realizaram o experimento EPR com dois detectores distantes 13 metros, que mediram os *spins* de fótons emitidos de átomos de cálcio. Em 1997, o experimento EPR foi realizado com detectores separados por 11 quilômetros. Todas as vezes, a teoria quântica venceu. Uma certa forma de conhecimento viaja *mesmo* mais rápido do que a luz. (Embora Einstein estivesse errado no caso do experimento EPR, estava certo na questão maior da comunicação mais veloz do que a luz. O experimento EPR, embora permita que você saiba algo instantaneamente sobre o outro lado da galáxia, não deixa que você envie uma mensagem desta maneira. Você não pode, por exemplo, enviar código Morse. De fato, um "transmissor EPR" enviaria apenas sinais aleatórios, visto que os *spins* que você medir são sempre aleatórios. O experimento EPR permite que você adquira informação sobre o outro lado da galáxia, mas não deixa você transmitir informações que

sejam úteis – isto é, não aleatórias.)

Bell gostava de descrever o efeito usando o exemplo de um matemático chamado Bertelsman. Ele tinha o estranho hábito de, todos os dias, calçar uma meia verde num pé e uma azul no outro, aleatoriamente. Se um dia você notasse que ele estava usando uma meia azul no pé esquerdo, saberia, mais rápido do que a luz, que a outra meia era verde. Mas saber disto não permite que você comunique informações desse modo. O experimento EPR não significa que você possa comunicar informações por telepatia, viajar mais rápido do que a luz ou viajar no tempo. Mas significa que é impossível nos separar totalmente da unidade do universo.

Isso nos força a aceitar uma imagem diferente do nosso universo. Existe um “emaranhado” cósmico entre cada átomo do nosso corpo e átomos que estão anos-luz distantes de nós. Visto que toda a matéria veio de uma única explosão, o Big Bang, em certo sentido os átomos do nosso corpo estão ligados com alguns átomos do outro lado do universo numa espécie de teia quântica cósmica. Partículas emaranhadas são mais ou menos como gêmeos ainda unidos por um cordão umbilical (a sua função de onda) que pode ter anos-luz de ponta a ponta. O que acontece com um membro automaticamente afeta o outro, e, por conseguinte, o conhecimento referente a uma partícula pode instantaneamente revelar o conhecimento sobre o seu par. Pares emaranhados agem como se fossem um objeto único, embora possam estar separados por uma grande distância. (Mais precisamente, visto que as funções de onda das partículas no Big Bang estiveram um dia conectadas e coerentes, suas funções de onda poderiam ainda estar parcialmente conectadas bilhões de anos depois do Big Bang, de modo que perturbações em uma parte da função de onda podem influenciar outra parte distante da função de onda.)

Em 1993, os cientistas propuseram usar o conceito de emaranhado EPR para propiciar um mecanismo de teletransporte quântico. Em 1997 e 1998, os cientistas da Cal Tech, da Universidade de Aarhus na Dinamarca e da Universidade de Gales fizeram a primeira demonstração experimental de teletransporte quântico quando um único fóton foi teletransportado de um ponto a outro sobre a superfície de uma mesa. Samuel Braunstein, da Universidade de Gales, que fez parte desta equipe, comparou os pares emaranhados a amantes “que se conhecem tão bem que poderiam responder um pelo outro mesmo separados por grandes distâncias”.[28]

(Os experimentos de teletransporte quântico requerem três objetos, chamados A, B e C. Digamos que B e C são dois gêmeos que estão emaranhados. Embora B e C possam estar separados por uma grande distância, ainda estão emaranhados um com o outro. Agora, digamos que B entre em contato com A,

que é o objeto a ser teletransportado. B “escaneia” A, de modo que a informação contida em A é transferida para B. Esta informação, em seguida, é transferida automaticamente para o gêmeo C. Assim, C se torna uma réplica exata de A.)

O progresso no teletransporte quântico está ocorrendo rapidamente. Em 2003, os cientistas da Universidade de Genebra, na Suíça, foram capazes de teletransportar fótons a uma distância de 1,9 quilômetro através de um cabo de fibra ótica. Fótons de luz (a um comprimento de onda de 1,3 mm) em um laboratório foram teletransportados em fótons de luz de um comprimento de onda diferente (1,55 mm) em outro laboratório conectado por este longo cabo. Nicolas Gisin, um físico neste projeto, disse: “Possivelmente, objetos maiores como uma molécula serão teletransportados antes que eu morra, mas objetos realmente grandes não são teletransportáveis usando-se as tecnologias que somos capazes de prever.”

Outro avanço significativo foi feito em 2004, quando os cientistas do National Institute of Standards and Technology (NIST) teletransportaram não apenas um quantum de luz, mas um átomo inteiro. Eles emaranharam com sucesso três átomos de berílio e foram capazes de transferir as características de um átomo para outro, um feito importantíssimo.

As aplicações práticas do teletransporte quântico são potencialmente enormes. Entretanto, é preciso observar que aí existem vários problemas práticos. Primeiro, o objeto original é destruído no processo, não sendo possível fazer cópias do objeto teletransportado. Apenas uma cópia é possível. Segundo, não se pode teletransportar um objeto mais rápido do que a luz. A relatividade ainda vigora, mesmo no caso de teletransporte quântico. (Para teletransportar o objeto A num objeto C, você ainda precisa de um objeto B intermediário conectando os dois e que viaja mais devagar do que a velocidade da luz.) Terceiro, talvez a limitação mais importante no teletransporte quântico seja a mesma que se enfrenta na computação quântica: os objetos em questão devem ser coerentes. A mais leve contaminação com o ambiente destruirá o teletransporte quântico. Mas é concebível que, no decorrer do século XXI, o primeiro vírus possa ser teletransportado.

Teletransportar um ser humano pode acarretar outros problemas. Braunstein observa: “O importante agora é a quantidade total de informação envolvida. Mesmo com os melhores canais de comunicação que possamos imaginar no momento, transferir toda essa informação levaria o tempo de existência do universo.”

A FUNÇÃO DE ONDA DO UNIVERSO

Mas talvez a realização máxima da teoria quântica possa acontecer quando aplicarmos a mecânica quântica não apenas a fótons individuais, mas a todo o universo. Stephen Hawking brincou dizendo que sempre que ouve falar do problema do gato, estende a mão para pegar o revólver. Ele propôs a sua própria solução para o problema – ter uma função de onda para o universo inteiro. Se o universo inteiro é parte da função de onda, então não há necessidade de um observador (que precisa existir fora do universo).

Na teoria quântica, cada partícula é associada a uma onda. A onda, por sua vez, diz a você qual a probabilidade de encontrar a partícula num determinado ponto. Entretanto, o universo, quando muito jovem, era menor do que uma partícula subatômica. Portanto, talvez o universo tenha uma função de onda. Visto que o elétron pode existir em muitos estados ao mesmo tempo, e como o universo era menor do que um elétron, talvez o universo também existisse simultaneamente em muitos estados, descrito por uma superfunção de onda.

Esta é uma variação da teoria dos muitos mundos: não há necessidade de invocar um observador cósmico que possa observar o universo inteiro todo ao mesmo tempo. Mas a função de onda de Hawking é muito diferente da função de onda de Schrödinger. Na função de onda de Schrödinger, em cada ponto no espaço-tempo existe uma função de onda. Na função de onda de Hawking, para cada universo existe uma onda. Em vez da função *psi* de Schrödinger descrevendo todos os estados possíveis do elétron, Hawking introduz uma função *psi* que representa todos os estados possíveis do universo. Na mecânica quântica comum, o elétron existe no espaço comum. Entretanto, na função de onda do universo, a função de onda existe no “superespaço”, o espaço de todos os universos possíveis, introduzido por Wheeler.

Esta função de onda mestre (a mãe de todas as funções de onda) obedece não à equação de Schrödinger (que só funciona para elétrons isolados), mas à equação de Wheeler-DeWitt, que funciona com todos os universos possíveis. No início dos anos de 1990, Hawking escreveu que ele era capaz de solucionar em parte a sua função de onda do universo e mostrar que o universo mais provável era aquele com uma constante cosmológica nula. Esse artigo provocou um bocado de controvérsias porque dependia de se somar todos os universos possíveis. Hawking fez essa soma com a inclusão de buracos de minhoca conectando o nosso universo com todos os universos possíveis. (Imagine um mar infinito de bolhas de sabão flutuando no ar, todas conectadas por delgados filamentos ou buracos de minhoca e, em seguida, somando-os todos.)

Em última análise, surgiram dúvidas a respeito do ambicioso método de

Hawking. Observou-se que a soma de todos os universos possíveis era matematicamente pouco confiável, pelo menos até termos uma “teoria de tudo” para nos guiar. Enquanto uma teoria de tudo está sendo elaborada, os críticos argumentam que não se pode realmente confiar em nenhum dos cálculos sobre máquinas do tempo, buracos de minhoca, o instante do Big Bang e funções de onda do universo.

Hoje, entretanto, dezenas de físicos acreditam que finalmente encontramos a teoria de tudo, embora ela ainda não esteja na sua forma final: a teoria das cordas ou Teoria M. Ela nos permitirá “ler a mente de Deus”, como Einstein acreditava?

CAPÍTULO SETE

A Teoria M: a Mãe de Todas as Cordas

Para alguém capaz de entender o Universo do ponto de vista unificado, a criação inteira pareceria uma única verdade e necessidade.
– J. D’Alembert

Sinto que estamos tão próximos da teoria das cordas que – nos meus momentos mais otimistas – imagino que um dia a forma final da teoria poderá cair do céu e aterrissar no colo de alguém. Mais realisticamente, porém, sinto que estamos agora construindo uma teoria muito mais profunda do que qualquer coisa que já tivemos antes e que, lá por meados do século XXI, quando eu estiver velho demais para ter alguma ideia útil sobre o assunto, físicos mais jovens terão de decidir se encontramos, de fato, a teoria final.
– Edward Witten

O clássico romance de H. G. Wells de 1897, *O homem invisível*, começa com uma história estranha. Num dia frio e ventoso, um estrangeiro surge das sombras vestido num estilo esquisito. Seu rosto está completamente coberto; ele usa óculos de lentes azul-escuras. E uma bandagem branca envolve todo o seu rosto.

No início, o povo do vilarejo fica com pena, pensando que ele sofreu um acidente horrível. Mas coisas estranhas acontecem no vilarejo. Um dia, a dona da pensão entra no quarto dele e grita ao ver roupas movendo-se de um lado para o outro sem ninguém dentro. Chapéus girando pelo quarto, roupas de cama sacudidas no ar, cadeiras saindo do lugar e “a mobília enlouquecida”, ela lembrou, horrorizada.

Em breve, toda a cidadezinha está em polvorosa com os boatos sobre essas estranhas ocorrências. Finalmente, um grupo de habitantes se reúne e vai falar com o misterioso estrangeiro. Para sua surpresa, ele lentamente começa a desenrolar as suas bandagens. O grupo fica perplexo. Sem as bandagens, o rosto do estrangeiro não existe. Na verdade, ele é invisível. O caos se instala, com as pessoas gritando e berrando. O povo do vilarejo tenta perseguir o homem invisível, que facilmente os repele.

Depois de cometer uma série de crimes banais, o homem invisível vai procurar um velho conhecido e lhe narra a sua extraordinária história. O seu nome verdadeiro é sr. Griffen, da University College. Embora tenha começado estudando medicina, deparou-se com um meio revolucionário de mudar as propriedades refrativas e reflexivas da carne. O seu segredo é a quarta dimensão.

Ele exclama para o dr. Kemp: “Descobri um princípio geral... uma fórmula, uma expressão geométrica que envolve quatro dimensões.”[1]

O triste é que, em vez de usar esta grande descoberta para ajudar a humanidade, ele só pensa em roubos e ganhos particulares. Ele propõe recrutar o seu amigo como cúmplice. Juntos, afirma ele, podem saquear o mundo. Mas o amigo fica horrorizado e revela a presença do dr. Griffen para a polícia. Isto leva a uma caçada humana final, na qual o homem invisível fica mortalmente ferido.

Como acontece nos melhores romances de ficção científica, existe um germe de ciência em muitas das histórias de H. G. Wells. Quem quer que consiga penetrar na quarta dimensão (ou no que hoje se chama quinta dimensão, sendo o tempo a quarta) pode, na verdade, se tornar invisível e pode até assumir os poderes normalmente atribuídos a fantasmas e deuses. Imagine, por enquanto, que uma raça de seres míticos possa habitar o mundo bidimensional de um tampo de mesa, como no romance *Flatland* (*Terra Plana*), de Edwin Abbot, de 1884. Eles conduzem seus negócios sem perceber que um universo inteiro, a terceira dimensão, os cerca.

Mas, se um cientista da Terra Plana pudesse realizar um experimento que lhe permitisse pairar alguns centímetros sobre a mesa, ele se tornaria invisível, porque a luz passaria por baixo dele como se ele não existisse. Flutuando logo acima da Terra Plana, ele poderia ver acontecimentos desenrolando-se sobre o tampo da mesa. Pairar no hiperespaço tem vantagens inegáveis, pois alguém que olhasse para baixo teria os poderes de um deus.

Não só a luz passaria por baixo dele, tornando-o invisível, como ele poderia também passar por cima de objetos. Em outras palavras, ele poderia desaparecer à vontade e atravessar paredes. Saltando simplesmente para a terceira dimensão, ele desapareceria do universo da Terra Plana. E, se pulasse de volta para o tampo da mesa, ele de repente voltaria a se materializar do nada. Ele poderia, portanto, escapar de qualquer prisão. Uma prisão na Terra Plana seria um círculo traçado ao redor do prisioneiro, portanto seria fácil simplesmente pular para a terceira dimensão e estar do lado de fora.

Seria impossível guardar segredos de um hiperser. O ouro trancado num cofre seria visto facilmente do ponto de vista da terceira dimensão, porque o cofre é apenas um retângulo aberto. Seria uma brincadeira de criança colocar a mão dentro do retângulo e levar o ouro embora, sem sequer ter de arrombar o cofre. Cirurgias seriam possíveis sem cortes na pele.

Do mesmo modo, H. G. Wells queria transmitir a ideia de que num mundo quadrimensional nós somos os habitantes da Terra Plana, sem saber que planos superiores de existência podem pairar logo acima do nosso. Acreditamos que o nosso mundo consiste em tudo que podemos ver, sem perceber que pode haver

um universo inteiro logo acima de nossos narizes. Embora outro universo talvez esteja pairando poucos centímetros sobre nós, flutuando na quarta dimensão, ele seria invisível.

Como um hiperser possuiria poderes sobre-humanos, em geral atribuídos a um fantasma ou espírito, em outra história de ficção científica H. G. Wells imaginou se seres sobrenaturais poderiam habitar dimensões superiores. Ele levantou a questão-chave que hoje é assunto de grandes especulações e pesquisas: poderia haver novas leis da física nestas dimensões superiores? Em seu romance de 1895, *The Wonderful Visit*, o revólver de um vigário acerta acidentalmente um anjo, que por acaso está passando pela nossa dimensão. Por algum motivo cósmico, nossa dimensão e um universo paralelo colidiram temporariamente, fazendo com que este anjo caísse no nosso mundo. Na história, escreve Wells: “Talvez existam vários universos tridimensionais apinhados lado a lado.”[2] O vigário questiona o anjo ferido. Ele fica chocado ao descobrir que as nossas leis da natureza não se aplicam mais ao mundo do anjo. No universo dele, por exemplo, não existem planos, mas sim cilindros; portanto, o espaço em si é curvo. (Vinte anos antes da teoria da relatividade geral de Einstein, Wells estava alimentando ideias sobre universos que existiam em superfícies curvas.) Como o vigário explica: “Sua geometria é diferente porque o espaço tem uma curva, de modo que todos os seus planos são cilindros; e a lei da Gravitação deles não segue a lei do inverso dos quadrados, e existem 24 cores primárias em vez de apenas três.” Mais de um século depois de Wells escrever a sua história, os físicos hoje percebem que novas leis da física, com diferentes conjuntos de partículas subatômicas, átomos e interações químicas, poderiam, na verdade, existir em universos paralelos. (Como veremos no Capítulo 9, vários experimentos estão agora sendo realizados para detectar a presença de universos paralelos que poderiam estar pairando logo acima de nós.)

O conceito de hiperespaço deixou artistas, músicos, místicos, teólogos e filósofos intrigados, especialmente próximo do início do século XX. Segundo a historiadora de arte Linda Dalrymple Henderson, o interesse de Pablo Picasso pela quarta dimensão influenciou a criação do cubismo. (Os olhos das mulheres que ele pintou voltam-se diretamente para nós, mesmo que os seus narizes estejam de perfil, permitindo que vejamos as mulheres na sua totalidade. Similarmente, um hiperser olhando de cima para nós nos verá na nossa totalidade: frente, costas e lados simultaneamente.) Em seu famoso quadro *Christus Hypercubus*, Salvador Dalí pintou Jesus Cristo crucificado em frente a um hipercubo quadridimensional desdobrado ou um tesseract. No quadro *A persistência da memória*, Dalí tentou transmitir a ideia de tempo como a quarta dimensão que derretia relógios. No quadro de Marcel Duchamp, *Nu descendo*

uma escada (No 2), vemos um nu em câmara lenta, descendo as escadas, em outra tentativa de capturar a quarta dimensão de tempo numa superfície bidimensional.

A TEORIA M

Hoje, o mistério e as lendas que cercam a quarta dimensão estão sendo ressuscitados por um motivo totalmente diverso: o desenvolvimento da teoria das cordas e a sua mais recente encarnação, a teoria M. Historicamente, o conceito de hiperespaço tem sofrido extenuante resistência por parte dos físicos: eles zombaram, dizendo que dimensões superiores pertencem à esfera de místicos e charlatães. Os cientistas que propunham a sério a existência de mundos invisíveis estavam sujeitos ao ridículo.

Com o advento da teoria M, tudo isso mudou. As dimensões superiores hoje estão no centro de uma profunda revolução na física porque os físicos são obrigados a enfrentar o maior problema da física atualmente: o cisma entre relatividade geral e a teoria quântica. Notadamente, estas duas teorias compreendem a soma total de todo o conhecimento da física sobre o universo ao nível fundamental. No presente, apenas a teoria M pode unificar estas duas grandes teorias do universo, aparentemente contraditórias, num todo coerente e criar uma "teoria do tudo". De todas as teorias propostas no século passado, a única candidata capaz de "ler a mente de Deus", como dizia Einstein, é a teoria M.

Somente em hiperespaços com dez ou onze dimensões temos "espaço suficiente" para unificar todas as forças da natureza numa única teoria elegante. Uma teoria tão fabulosa seria capaz de responder às eternas questões: o que aconteceu antes do início? O tempo pode voltar atrás? As passagens dimensionais podem nos levar através do universo? (Embora os críticos observem corretamente que testar esta teoria está além da nossa capacidade experimental no momento, existem muitos experimentos sendo planejados atualmente que talvez mudem esta situação, como veremos no Capítulo 9.)

Todas as tentativas feitas nos últimos cinquenta anos para se criar uma descrição realmente unificada do universo foram um vergonhoso fiasco. Do ponto de vista conceitual, isto é fácil de compreender. A relatividade geral e a teoria quântica são diametralmente opostas em quase todos os sentidos. A relatividade geral é uma teoria do muito grande: buracos negros, Big Bangs, quasares e o universo em expansão. Está baseada na matemática das superfícies

suaves, como lençóis de cama e redes de camas elásticas. A teoria quântica é exatamente o contrário – ela descreve o mundo do muito pequenino: átomos, prótons e nêutrons e quarks. Está baseada numa teoria de pacotes discretos de energia chamados quanta. Diferente da relatividade, a teoria quântica afirma que só a probabilidade de eventos pode ser calculada, de modo que nunca sabemos com certeza onde um elétron se encontra. Estas duas teorias baseiam-se em matemáticas diferentes, hipóteses diferentes, princípios físicos diferentes e domínios diferentes. Não é de surpreender que todas as tentativas de unificá-las tenham ido por água abaixo.

Os gigantes da física que seguiram Einstein – Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli e Arthur Eddington – tentaram achar uma teoria de campo unificado, com total fracasso. Em 1928, Einstein sem querer criou um verdadeiro estouro da boiada na mídia com uma versão precoce da sua teoria de campo unificado. O *New York Times* até publicou partes do ensaio, inclusive as suas equações. Mais de cem repórteres atropelavam-se na frente da sua casa. Escrevendo da Inglaterra, Eddington comentou sobre Einstein: "O senhor vai achar divertido saber que uma das nossas maiores lojas de departamentos em Londres (a Selfridges) pregou na vitrina o seu ensaio (as seis páginas coladas lado a lado) de modo que os transeuntes pudessem ler tudo. Multidões se formam para ler."[3]

Em 1946, Erwin Schrödinger também pegou o vírus e descobriu o que pensou ser a lendária teoria de campo unificado. Às pressas, ele fez algo bastante incomum para a sua época (mas que hoje não é tanto assim): convocou a imprensa para uma entrevista coletiva. Até o primeiro-ministro da Irlanda, Eamon De Valera, apareceu para ouvir Schrödinger. Quando lhe perguntaram que certeza ele tinha de ter finalmente acertado na teoria do campo unificado, ele respondeu: "Acredito que estou certo. Vou parecer um idiota se estiver errado."[4] (O *New York Times* soube desta coletiva e enviou o manuscrito pelo correio a Einstein e outros, pedindo que comentassem. Lamentavelmente, Einstein percebeu que Schrödinger havia redescoberto uma velha teoria que ele propusera anos antes e rejeitara. Einstein foi educado na resposta, mas Schrödinger ficou humilhado.)

Em 1958, o físico Jeremy Bernstein participou de uma palestra na Universidade de Columbia onde Wolfgang Pauli apresentou a sua versão da teoria do campo unificado, que desenvolveu com Werner Heisenberg. Niels Bohr, que estava na platéia, não se impressionou e acabou se levantando e dizendo: "Nós aqui atrás estamos convencidos de que a sua teoria é louca. Mas o que nos divide é se a sua teoria é louca o suficiente."[5]

Pauli imediatamente entendeu o que Bohr queria dizer – que a teoria de Heisenberg-Pauli era convencional demais, comum demais para ser a teoria do campo unificada. “Ler a Mente de Deus” significaria introduzir uma matemática e ideias totalmente diferentes.

Muitos físicos estão convencidos de que existe uma teoria simples, elegante e atraente por trás de tudo que, não obstante, é louca e absurda o bastante para ser verdade. John Wheeler, de Princeton aponta que, no século XIX, explicar a imensa diversidade de vida encontrada na Terra parecia impossível. Mas aí Charles Darwin introduziu a teoria da seleção natural, e uma única teoria deu a estrutura para explicar a origem e a diversidade da vida na Terra.

O prêmio Nobel Steven Weinberg usa uma analogia diferente. Depois de Colombo, os mapas que detalhavam as ousadas viagens dos primeiros exploradores europeus eram um forte indício de que deveria haver um “polo norte”, mas não havia uma prova direta da sua existência. Como todos os mapas da Terra mostravam um imenso vazio onde o Polo Norte deveria estar, os primeiros exploradores simplesmente supunham que deveria existir um Polo Norte, embora nenhum deles jamais tivesse estado lá. Similarmente, os físicos hoje, como os antigos exploradores, encontram amplas evidências indiretas apontando para a existência de uma teoria de tudo, embora atualmente não exista um consenso universal sobre o que seja esta teoria.

HISTÓRIA DA TEORIA DAS CORDAS

Uma teoria que claramente é “louca o bastante” para ser a teoria de campo unificado é a teoria das cordas, ou teoria M. A teoria das cordas tem talvez a história mais bizarra dos anais da física. Ela foi descoberta meio por acidente, aplicada ao problema errado, relegada à obscuridade e, de repente, ressuscitada como uma teoria de tudo. E, em última análise, porque é impossível fazer pequenos ajustes sem destruir a teoria, haverá ou uma “teoria de tudo” ou uma “teoria de nada”.

A razão para esta estranha história é que a teoria das cordas vem evoluindo às avessas. Normalmente, numa teoria como a da relatividade, começa-se com princípios físicos fundamentais. Depois, estes princípios são aprimorados num conjunto de equações clássicas básicas. Por fim, calcula-se as flutuações quânticas destas equações. A teoria das cordas evoluiu de marcha a ré, começando com a descoberta acidental da sua teoria quântica; os físicos ainda estão tentando descobrir que princípios físicos poderão guiar a teoria.

A origem da teoria das cordas data de 1968, quando dois jovens físicos no laboratório nuclear do CERN, em Genebra, Gabriele Veneziano e Mahiko Suzuki, folheando independentemente um livro de matemática, toparam com uma função Beta de Euler, uma obscura expressão matemática do século XVIII descoberta por Leonard Euler, que curiosamente parecia descrever o mundo subatômico. Eles ficaram atônitos porque esta fórmula matemática abstrata parecia descrever a colisão de dois mésons (Pi) a enormes energias. O modelo de Veneziano criou logo uma sensação na física, com literalmente centenas de trabalhos tentando generalizá-la para descrever as forças nucleares.

Em outras palavras, a teoria foi descoberta por puro acaso. Edward Witten, do Instituto de Estudos Avançados (que muitos acreditam ser o motor criativo por trás de muitos dos avanços surpreendentes na teoria) disse: “De fato, os físicos do século XX não deveriam ter tido o privilégio de estudar esta teoria. De fato, a teoria das cordas não deveria ter sido inventada.”[6]

Lembro-me muito bem da agitação provocada pela teoria das cordas. Naquela época, eu ainda era aluno de pós-graduação em física na Universidade da Califórnia, em Berkeley, e recordo ter visto os físicos balançando as cabeças e declarando que a física não deveria ser assim. No passado, a física, em geral, baseava-se em observações detalhadíssimas da natureza, na formulação de algumas hipóteses parciais, na testagem cuidadosa da ideia comparando-se com dados experimentais e então repetindo-se o processo tediosamente por várias vezes. A teoria das cordas era um método instintivo baseado na simples adivinhação da resposta. Esses atalhos tão empolgantes não deveriam ser possíveis.

Como partículas subatômicas não podem ser vistas com nossos mais potentes instrumentos, os físicos recorreram a um modo brutal, mas eficaz, para analisá-las, colidindo-as umas contra as outras em energias enormes. Bilhões de dólares foram gastos na construção de imensos “colisores de átomos”, ou aceleradores de partículas, que se estendem por muitos quilômetros, criando feixes de partículas subatômicas que colidem umas com as outras. Os físicos, em seguida, analisam meticulosamente os resíduos da colisão. O objetivo deste processo árduo e penoso é construir uma série de números, chamados de matriz de espalhamento ou matriz S. Este conjunto de números é crucial porque tem codificado nele todas as informações da física subatômica – isto é, conhecendo-se a matriz S, pode-se deduzir todas as propriedades das partículas elementares.

Um dos objetivos da física de partículas elementares é prever a estrutura matemática da matriz S para as interações fortes, meta tão difícil que alguns cientistas acreditaram estar fora do alcance de qualquer física conhecida. É possível então imaginar a sensação causada por Veneziano e Suzuki quando eles

simplesmente adivinharam a matriz S folheando um livro de matemática.

O modelo era algo totalmente diferente de qualquer coisa jamais vista. Em geral, quando alguém propõe uma teoria nova (como os quarks), os físicos tentam mexer na teoria, mudando parâmetros simples (como as massas das partículas ou a intensidade dos acoplamentos). Mas o modelo de Veneziano era tão preciso que até a mais leve perturbação nas suas simetrias básicas arruinava toda a fórmula. Como uma peça de cristal delicadamente polida, qualquer tentativa de alterar o seu formato a estilhaçaria.

Das centenas de trabalhos que modificaram trivialmente os seus parâmetros, destruindo portanto a sua beleza, nenhum sobreviveu até hoje. Os únicos de que ainda se tem lembrança são aqueles que buscaram compreender por que a teoria funcionava – isto é, os que tentaram revelar as suas simetrias. No final, os cientistas aprenderam que a teoria não tinha nenhum parâmetro ajustável.

O modelo de Veneziano, por mais extraordinário que fosse, ainda apresentava vários problemas. Primeiro, os físicos perceberam que ele era apenas uma aproximação da matriz S final, e não o quadro total. Bunju Sakita, Miguel Virasoro e Keiji Kikkawa, na época na Universidade de Wisconsin, perceberam que a matriz S podia ser vista como uma série infinita de termos, e que o modelo de Veneziano era apenas o primeiro e mais importante termo da série. (Grosseiramente falando, cada termo na série representa o número de modos como as partículas podem colidir umas com as outras. Eles postularam algumas das regras com as quais podia-se construir os termos mais altos naquela aproximação. Para a minha tese de doutorado, decidi completar rigorosamente este programa e construir todas as correções possíveis do modelo de Veneziano. Junto com meu colega L. P. Yu, calculei o conjunto infinito de termos de correção para o modelo.)

Finalmente, Yoichiro Nambu, da Universidade de Chicago, e Tetsuo Goto, da Universidade de Nihon, identificaram as características-chave que faziam o modelo funcionar – uma corda vibrando. (Um trabalho nesta mesma orientação foi realizado também por Leonard Susskind e Holger Nielsen.) Quando uma corda colidia com outra corda, criava uma matriz S descrita pelo modelo de Veneziano. Neste quadro, cada partícula não passa de uma vibração ou nota na corda. (Discutirei este conceito em detalhes mais adiante.)

O progresso foi muito rápido. Em 1971, John Schwarz, André Neveu e Pierre Ramond generalizaram o modelo das cordas de modo a incluir uma nova quantidade chamada *spin*, tornando-a uma candidata realista para descrever as interações das partículas. (Todas as partículas subatômicas, como veremos, parecem estar girando como um pião em miniatura. A quantidade de rotações ou *spins* de cada partícula subatômica, em unidades quânticas, é ou um número

inteiro como 0, 1, 2, ou metade de um número inteiro, como 1/2, 3/2. Extraordinariamente, a corda de Neveu-Schwarz-Ramond fornecia este exato padrão de *spins*.)

Mas eu ainda não estava satisfeito. O modelo de ressonância dual, como foi chamado na época, era um conjunto desconexo de fórmulas avulsas e regras empíricas. Toda a física nos 150 anos anteriores tinha se baseado em "campos", desde que foram introduzidos pelo físico britânico Michael Faraday. Imagine as linhas de campo magnético criadas por uma barra magnética. Como uma teia de aranha, as linhas de força permeiam todo o espaço. Em cada ponto do espaço, pode-se medir a intensidade e a direção das linhas de força magnéticas. Do mesmo modo, um campo é um objeto matemático que assume valores diferentes em cada ponto do espaço. Por conseguinte, o campo mede a intensidade da força magnética, elétrica ou nuclear em qualquer ponto do universo. Por isso, a descrição fundamental da eletricidade, magnetismo, força nuclear e gravitação está baseada em campos. Por que as cordas seriam diferentes? O que se precisava era de uma "teoria de campo de cordas" que permitisse resumir todo o conteúdo da teoria numa única equação.

Em 1974, decidi resolver o problema. Com meu colega Keiji Kikkawa, da Universidade de Osaka, deduzi, com sucesso, a teoria de campo das cordas. Com uma equação mal chegando a 4 cm de extensão, conseguimos resumir todas as informações contidas dentro da teoria das cordas.[7] Uma vez formulada a teoria de campo das cordas, eu precisava convencer a grande comunidade de físicos sobre a sua eficiência e beleza. Naquele verão, participei de uma conferência sobre física teórica no Aspen Center, no Colorado, e dei um seminário para um pequeno, mas seleto, grupo de físicos. Eu estava bastante nervoso: na plateia havia dois prêmios Nobel, Murray Gell-Mann e Richard Feynman, famosos por suas perguntas afiadas e penetrantes que muitas vezes deixavam o orador atarantado. (Certa vez, dando uma palestra, Weinberg desenhou um ângulo no quadro-negro, rotulado com a letra W, que é chamada de ângulo de Weinberg em sua homenagem. Feynman então perguntou o que o W no quadro representava. Quando Weinberg começou a responder, Feynman gritou "Wrong!" (errado, em inglês), o que fez a plateia cair na gargalhada. Feynman pode ter divertido a audiência, mas Weinberg riu por último. Este ângulo era uma parte crucial da teoria de Weinberg que unia as interações eletromagnética e fraca, e que acabaria por lhe conquistar o prêmio Nobel.)

Na minha palestra, enfatizei que a teoria de campo das cordas produziria a abordagem mais simples, mais abrangente da teoria das cordas, que era, em grande parte, uma mistura de fórmulas disjuntas. Na teoria de campo das cordas, a teoria inteira podia ser resumida numa única equação com cerca de 4 cm de

extensão – todas as propriedades do modelo de Veneziano, todos os termos da aproximação da perturbação infinita e todas as propriedades de cordas girando poderiam ser derivadas de uma equação que caberia num biscoitinho da sorte chinês. Eu enfatizei que as simetrias da teoria das cordas lhe dava a sua beleza e eficiência. Quando as cordas se movem no espaço-tempo, elas varrem superfícies bidimensionais, que parecem uma faixa. A teoria permanece a mesma, não importa as coordenadas que você use para descrever esta superfície bidimensional. Jamais vou me esquecer que Feynman chegou perto de mim e disse: "Posso não concordar totalmente com a teoria das cordas, mas a palestra que você deu é uma das mais belas que já ouvi."

DEZ DIMENSÕES

Mas assim que a teoria das cordas decolou, ela rapidamente se esclareceu. Claude Lovelace de Rutgers descobriu que o modelo de Veneziano tinha uma minúscula falha matemática que só podia ser eliminada se o espaço-tempo tivesse 26 dimensões. Da mesma forma, o modelo das supercordas de Neveu, Schwarz e Ramond só podia existir em dez dimensões.[8] Os físicos ficaram chocados. Isso nunca tinha sido visto antes na história da ciência. Em nenhum outro lugar encontramos uma teoria que define a sua própria dimensionalidade. As teorias de Newton e de Einstein, por exemplo, podem ser formuladas em qualquer dimensão. A famosa lei do inverso do quadrado da gravidade, por exemplo, pode ser generalizada numa lei do inverso do cubo em quatro dimensões. A teoria das cordas, entretanto, só pode existir em dimensões específicas.

De um ponto de vista prático, era um desastre. O nosso mundo, era crença universal, existia em três dimensões de espaço (comprimento, largura e altura) e uma de tempo. Admitir um universo com dez dimensões significaria que a teoria beirava a ficção científica. Os teóricos das cordas tornaram-se motivo de chacota. (John Schwarz lembra de estar no elevador com Richard Feynman, que, brincando, lhe disse: "Então, John, em quantas dimensões você vive hoje?")[9] Mas não importa como os físicos das cordas tentassem salvar o modelo, ele rapidamente morria. Só os persistentes continuaram trabalhando na teoria. Foi um esforço solitário durante este período.

Dois reacionários que continuaram trabalhando na teoria durante estes anos sombrios foram John Schwarz, da Cal Tech, e Joël Scherk, da École Normale Supérieure, em Paris. Até então, supunha-se que o modelo das cordas

descrevesse apenas as interações nucleares fortes. Mas havia um problema: o modelo previa uma partícula que não ocorria nas interações fortes, uma curiosa partícula com massa zero que possuía duas unidades quânticas de *spin*. Todas as tentativas de se livrar dessa incômoda partícula falharam. Sempre que alguém tentava eliminar essa partícula de *spin*-2, o modelo colapsava e perdia os seus poderes mágicos. De algum modo, esta partícula de *spin*-2 indesejada parecia guardar o segredo do modelo inteiro.

Então Scherk e Schwarz fizeram uma conjectura ousada. Talvez a falha fosse, na verdade, uma bênção. Se eles reinterpretassem essa incômoda partícula de *spin*-2 como o gráviton (uma partícula de gravitação que surge da teoria de Einstein), então a teoria, na verdade, incorporava a teoria da gravidade de Einstein! (Em outras palavras, a teoria da relatividade geral de Einstein simplesmente emerge como a vibração ou nota mais grave da supercorda.) Ironicamente, embora em outras teorias quânticas os físicos tentassem exaustivamente não incluir qualquer menção à gravitacão, a teoria das cordas exige isso. (Na verdade, esse é um dos aspectos atraentes da teoria das cordas – o de que ela deve incluir a gravitação ou a teoria não tem coerência.) Com esse salto ousado, os cientistas perceberam que o modelo das cordas estava sendo incorretamente aplicado ao problema errado. Ela não era para ser uma teoria apenas das interações nucleares fortes, era, pelo contrário, uma teoria de tudo. Como enfatizou Witten, uma característica atraente da teoria das cordas é que ela exige a presença da gravidade. Enquanto as teorias de campo padrão falharam durante décadas em incorporar a gravidade, a gravitação é obrigatória na teoria das cordas.

A ideia seminal de Scherk e Schwarz, entretanto, foi universalmente ignorada. Para a teoria das cordas descrever tanto a gravidade quanto o mundo subatômico, as cordas teriam de ter apenas 10^{-33} cm de comprimento (o comprimento de Planck); em outras palavras, elas eram um bilhão de bilhões de vezes menores do que um próton. Era demais para a maioria dos físicos.

Mas lá por meados da década de 1980, outras tentativas de uma teoria de campo unificada haviam fracassado. As teorias que tentavam ingenuamente adicionar gravidade ao Modelo Padrão estavam naufragando num lodaçal de infinitos (que explicarei em breve). Sempre que alguém tentava artificialmente casar a gravitação com as outras forças quânticas, isso levava a inconsistências matemáticas que destruíam a teoria. (Einstein acreditava que talvez Deus não tivesse outra opção ao criar o universo. Uma razão para isso poderia ser que apenas uma única teoria está livre de todas estas inconsistências matemáticas.)

Havia dois tipos de inconsistência matemática. O primeiro era o problema dos infinitos. Em geral, as flutuações quânticas são minúsculas. Os efeitos quânticos

costumam ser apenas uma pequena correção das leis de movimento de Newton. É por isso que podemos, na maior parte, ignorá-las no nosso mundo macroscópico – são pequenas demais para serem notadas. Entretanto, quando a gravitação é transformada numa teoria quântica, essas flutuações quânticas, na verdade, se tornam infinitas, o que é um absurdo. A segunda inconsistência matemática tem a ver com “anomalias”, pequenas aberrações na teoria que surgem quando a ela somamos flutuações quânticas. Essas anomalias estragam a simetria original da teoria, roubando-a portanto do seu poder original.

Por exemplo, imagine um projetista de foguete que precisa criar um veículo esguio, aerodinâmico, para penetrar na atmosfera como uma faca. O foguete precisa possuir grande simetria a fim de reduzir o atrito e a resistência do ar (neste caso, simetria cilíndrica, de modo que o foguete permaneça o mesmo quando o girarmos em torno do seu eixo). Essa simetria chama-se $0(_2)$. Mas existem dois problemas em potencial. Primeiro, como o foguete viaja numa velocidade tão alta, podem ocorrer vibrações nas asas. Em geral, estas flutuações são muito pequenas em aeroplanos subsônicos. Entretanto, viajando a velocidades supersônicas, estas flutuações podem aumentar de intensidade e acabar arrancando a asa. Divergências similares são uma praga para qualquer teoria quântica da gravidade.[10] Normalmente, elas são tão pequenas que podem ser ignoradas, mas, na teoria quântica da gravitação, elas podem explodir no seu rosto.

O segundo problema do foguete é que podem ocorrer minúsculas rachaduras no casco. Estas falhas arruínam a simetria original $0(_2)$ do foguete. Apesar de minúsculas, estas falhas podem acabar espalhando-se e rompendo o casco. Do mesmo modo, essas “rachaduras” podem destruir as simetrias de uma teoria da gravitação.

Há duas maneiras de solucionar esses problemas. Uma é encontrar soluções Band-Aid, como remendar as rachaduras com cola e prender as asas com varetas, na esperança de que o foguete não vá explodir na atmosfera. Esta é a abordagem historicamente adotada pela maioria dos físicos que tentam casar a teoria quântica com a gravitação. Eles tentaram varrer estes problemas para baixo do tapete. O segundo procedimento é começar tudo outra vez, com uma nova forma e novos materiais exóticos, capazes de suportar as tensões da viagem no espaço.

Os físicos passaram décadas tentando remendar uma teoria quântica da gravitação, só para encontrá-la irremediavelmente crivada de novas divergências e anomalias. Aos poucos, eles perceberam que a solução poderia ser abandonar a abordagem Band-Aid e adotar uma teoria totalmente nova.[11]

A MODA DAS CORDAS

Em 1984, a maré contra a teoria das cordas de repente mudou. John Schwarz, da Cal Tech, e Mike Green, então no Queen Mary's College, em Londres, mostraram que a teoria das cordas não possuía nenhuma das inconsistências que haviam derrubado tantas outras teorias. Os físicos já sabiam que a teoria das cordas não continha nenhuma divergência matemática. Mas Schwarz e Green mostraram que ela também não possuía anomalias. Consequentemente, a teoria das cordas passou a ser a mais importante (e, hoje, a única) candidata à teoria de tudo.

De repente, a teoria que havia sido considerada essencialmente morta ressuscitava. De uma teoria de nada, a teoria das cordas, de repente, era a teoria de tudo. Dezenas de físicos tentaram desesperadamente ler os artigos sobre teoria das cordas. Uma avalanche de trabalhos começou a jorrar de laboratórios de pesquisa no mundo inteiro. Velhos artigos que estavam acumulando poeira na biblioteca subitamente se tornaram o assunto mais quente da física. A ideia de universos paralelos, uma vez considerada estranha demais para ser verdade, agora estava no palco central da comunidade da física, com centenas de conferências e literalmente dezenas de milhares de artigos dedicados ao assunto.

(Às vezes, as coisas se descontrolavam, e alguns físicos pegavam a "febre do Nobel". Em agosto de 1991, a revista *Discover* até sapecou em sua capa o título sensacionalista: "A Nova Teoria de Tudo: Um Físico Derruba o Maior Enigma Cósmico." O artigo citava um físico que estava em busca acelerada de fama e glória: "Eu não sou modesto. Se isto der certo, haverá um prêmio Nobel aí!",[12] ele se vangloriava. Diante das críticas de que a teoria das cordas ainda engatinhava, ele retrucou: "Os maiorais da teoria das cordas estão dizendo que vai levar quatrocentos anos para provar as cordas, mas eu digo que eles deveriam calar a boca.")

A corrida do ouro começava.

No final, houve uma forte reação à "moda das supercordas". Um físico de Harvard torcera o nariz dizendo que a teoria das cordas não é realmente um ramo da física, mas, na verdade, um ramo da matemática pura, ou da filosofia, se não da religião. O prêmio Nobel Sheldon Glashow, de Harvard, liderou a acusação, comparando a moda das supercordas ao programa Guerra nas Estrelas (que consome vastos recursos, mas não pode ser testado). Glashow disse que está muito feliz por tantos jovens físicos estarem trabalhando na teoria das cordas, porque, ele diz, isso os tira de cima dele. Quando indagado sobre o comentário de Witten de que a teoria das cordas talvez domine a física pelos próximos cinquenta anos, do mesmo modo como a mecânica quântica dominou os últimos

cinquenta anos, ele responde que a teoria das cordas dominará a física da mesma forma que a teoria de Kaluza-Klein (que ele considera "maluca") dominou a física nos últimos cinquenta anos, isto é, nada. Ele tentou manter os teóricos das cordas fora de Harvard. Mas à medida que a geração seguinte de físicos mudou para a teoria das cordas, até a voz solitária de um prêmio Nobel logo foi abafada. (Harvard, desde então, contratou vários jovens teóricos das cordas.)

MÚSICA CÓSMICA

Einstein certa vez disse que, se uma teoria não oferecesse um quadro físico que até uma criança fosse capaz de compreender, então não deveria servir para nada. Felizmente, por trás da teoria das cordas existe um quadro físico simples, um quadro baseado na música.

Segundo a teoria das cordas, se você tivesse um supermicroscópio e pudesse olhar o coração de um elétron, veria não uma partícula pontual, mas uma corda vibrando. (A corda é extremamente minúscula, do comprimento de Planck de 10^{-33} cm, um bilhão de bilhões de vezes menor do que um próton, de modo que todas as partículas subatômicas parecem pontinhos.) Se fôssemos tanger esta corda, a vibração mudaria; o elétron talvez se transformasse num neutrino. Toque nela de novo, e ela talvez vire um quark. De fato, se você tangesse com bastante força, ela poderia se transformar em qualquer das partículas subatômicas conhecidas. Deste modo, a teoria das cordas pode facilmente explicar por que existem tantas partículas subatômicas. Elas não passam de "notas" diferentes que podem ser tocadas numa supercorda. Fazendo uma analogia, numa corda de violino, as notas lá, si e dó sustenido não são fundamentais. Ao tanger simplesmente a corda de diferentes maneiras, podemos gerar todas as notas da escala musical. O si bemol, por exemplo, não é mais fundamental do que sol. Todas elas não passam de notas numa corda de violino. Do mesmo modo, os elétrons e quarks não são fundamentais, mas a corda é. De fato, todas as subpartículas do universo podem ser vistas como nada além de vibrações diferentes da corda. As "harmonias" da corda são as leis da física.

As cordas podem interagir partindo-se e juntando de novo, criando assim as interações que vemos entre elétrons e prótons nos átomos. Deste modo, por meio da teoria das cordas, podemos reproduzir todas as leis da física atômica e nuclear. As "melodias" que podem ser escritas nas cordas correspondem às lei da química. O universo agora pode ser visto como uma vasta sinfonia de cordas.

Não só a teoria das cordas explica as partículas da teoria quântica como notas

musicais do universo, como explica também a teoria da relatividade de Einstein – a vibração mais aguda da corda, a partícula de *spin*-2 com massa zero, pode ser interpretada como o gráviton, uma partícula ou quantum da gravitação. Se calcularmos as interações desses grávitons, encontramos exatamente a velha teoria da gravitação de Einstein na forma quântica. À medida que a corda se move, quebra e volta a se formar, ela impõe enormes restrições ao espaço-tempo. Quando analisamos esses vínculos, achamos de novo a velha teoria da relatividade geral de Einstein. Assim, a teoria das cordas explica perfeitamente a teoria de Einstein sem nenhum trabalho adicional. Edward Witten disse que se Einstein nunca tivesse descoberto a relatividade, a sua teoria talvez fosse descoberta como um subproduto da teoria das cordas. A relatividade geral, em certo sentido, vem de graça.

A beleza da teoria das cordas é que ela pode ser comparada à música. A música é a metáfora por meio da qual podemos compreender a natureza do universo, no nível subatômico e no nível cósmico. Como o famoso violinista Yehudi Menuhin certa vez escreveu: "A música cria ordem do caos; pois o ritmo impõe unanimidade ao divergente; a melodia impõe continuidade ao disjunto; e a harmonia impõe compatibilidade ao discordante."[13]

Einstein escreveria que a sua pesquisa para uma teoria de campo unificado acabaria por lhe permitir "ler a mente de Deus". Se a teoria das cordas está correta, agora vemos que a mente de Deus representa música cósmica ressoando através do hiperespaço com dez dimensões. Como Gotfried Leibnitz falou um dia: "A música é o exercício de aritmética oculto, de uma alma sem consciência de que está calculando."[14]

Historicamente, o elo entre música e ciência foi forjado desde o século V a.C., quando os pitagóricos gregos descobriram as leis da harmonia e as reduziram à matemática. Eles descobriram que o tom da corda de uma lira dedilhada correspondia ao seu comprimento. Se alguém dobrasse o comprimento da corda de uma lira, então a nota descia uma oitava completa. Se o comprimento da corda fosse reduzido em dois terços, então o tom mudava um quinto. Portanto, as leis da música e da harmonia poderiam ser reduzidas a relações precisas entre números. Não é de surpreender que o lema dos pitagóricos fosse "Tudo são números". Originalmente, eles ficaram tão satisfeitos com este resultado que ousaram aplicar estas leis da harmonia a todo o universo. Seu esforço fracassou por causa da enorme complexidade da matéria. Entretanto, em certo sentido, com a teoria das cordas, os físicos estão retornando ao sonho pitagórico.

Comentando esse elo histórico, Jamie James disse: "Música e ciência estiveram [um dia] tão identificadas que quem sugerisse haver alguma diferença

essencial entre elas seria considerado um ignorante, [mas agora] alguém que proponha que elas tenham alguma coisa em comum corre o risco de ser rotulado de filisteu, por um grupo, e diletante, por outro –, e, a maior condenação de todas, um popularizador por ambos.”[15]

PROBLEMAS NO HIPERESPAÇO

Mas se dimensões superiores realmente existem na natureza e não apenas na matemática pura, então os teóricos das cordas têm de enfrentar o mesmo problema que atormentou Theodr Kaluza e Felix Klein, em 1921, quando formularam a primeira teoria de dimensões superiores: onde estão estas dimensões superiores?

Kaluza, antes um matemático desconhecido, escreveu uma carta a Einstein propondo formular as suas equações em cinco dimensões (uma dimensão de tempo e quatro dimensões de espaço). Matematicamente, isto não era problema, visto que as equações de Einstein podem ser escritas em qualquer dimensão. Mas a carta continha uma observação surpreendente: se alguém separasse à mão a parte quadridimensional contida nas equações pentadimensionais, automaticamente encontraria, quase por um passe de mágica, a teoria da luz de Maxwell! Em outras palavras, a teoria de Maxwell da força eletromagnética salta das equações de Einstein para a gravitação se simplesmente acrescentarmos uma quinta dimensão. Embora não possamos ver a quinta dimensão, ondas podem se formar nela, que correspondem a ondas de luz! Este é um resultado recompensador, visto que gerações de físicos e engenheiros tiveram de decorar as difíceis equações de Maxwell nos últimos 150 anos. Agora, essas equações complexas emergem facilmente como as vibrações mais simples que podem ser encontradas na quinta dimensão.

Imagine peixes nadando num lago pouco profundo, bem debaixo das folhas de lírio, pensando que o “universo” deles é apenas bidimensional. O nosso mundo tridimensional talvez esteja além da sua compreensão. Mas existe um modo com o qual eles podem detectar a presença da terceira dimensão. Se chover, eles podem ver claramente as sombras das ondas viajando pela superfície do lago. Do mesmo modo, não podemos ver a quinta dimensão, mas ondulações nela aparecem para nós como luz.

(A teoria de Kaluza foi uma bela e profunda revelação do poder da simetria. Mais tarde, ficou demonstrado que se acrescentarmos também mais dimensões à velha teoria de Einstein e as fizermos vibrar, então estas vibrações de dimensões

superiores reproduzem os bósons-W e Z e os glúons encontrados nas forças nucleares forte e fraca! Se o programa defendido por Kaluza estava correto, então o universo era aparentemente muito mais simples do que se pensava. A simples vibração de dimensões cada vez mais altas reproduzia muitas das forças que governavam o mundo.)

Embora Einstein tenha ficado chocado com este resultado, era bom demais para ser verdade. Com o passar dos anos, foram descobertos problemas que tornaram a ideia de Kaluza inútil. Primeiro, a teoria estava crivada de divergências e anomalias, o que é típico das teorias de gravitação quânticas. Segundo, havia a questão física muito perturbadora: por que não vemos a quinta dimensão? Quando lançamos setas para o céu, não as vemos desaparecer em outra dimensão. Pense na fumaça, que lentamente permeia todas as regiões do espaço. Visto que a fumaça jamais é observada desaparecendo numa dimensão superior, os físicos entenderam que as dimensões superiores, se existem, devem ser menores do que um átomo. No século passado, místicos e matemáticos alimentaram a ideia de dimensões superiores, mas os físicos acharam graça, já que ninguém jamais tinha visto objetos entrando numa dimensão superior.

Para salvar a teoria, os físicos tinham de propor que estas dimensões superiores eram tão pequenas que não podiam ser observadas na natureza. Visto que o nosso é um mundo quadridimensional, isso significava que a quinta dimensão tinha de ser enrolada num círculo minúsculo menor do que um átomo, pequeno demais para ser observado por experimentos.

A teoria das cordas teve de enfrentar o mesmo problema. Temos de enrolar estas dimensões superiores indesejadas numa bolinha (um processo chamado de compactificação). De acordo com a teoria das cordas, o universo tinha originalmente dez dimensões, com todas as forças unificadas pela corda. Mas o hiperespaço de dez dimensões era instável, e seis das dez dimensões começaram a se enrolar numa bola minúscula, deixando as outras quatro dimensões expandindo-se para fora num Big Bang. A razão de não podermos ver estas outras dimensões é que elas são muito menores do que um átomo, e, portanto, nada pode entrar nelas. (Por exemplo, uma mangueira de jardim e um canudinho, de longe, parecem ser objetos unidimensionais definidos pelo seu comprimento. Mas, examinando bem, vê-se que são, na verdade, superfícies bidimensionais ou cilindros, mas a segunda dimensão foi enrolada de modo que ninguém a vê.)

POR QUE CORDAS?

Embora as tentativas anteriores de uma teoria de campo unificada tenham falhado, a teoria das cordas sobreviveu a todos os desafios. Na verdade, ela não tem rival. Há duas razões para a teoria das cordas ter tido êxito onde dezenas de outras fracassaram.

Primeiro, sendo uma teoria baseada num objeto estendido (a corda), ela evita muitas das divergências associadas com partículas pontuais. Como Newton observou, a força gravitacional que cerca uma partícula pontual torna-se infinita à medida que nos aproximamos dela. (Na famosa lei do inverso do quadrado de Newton, a força da gravidade cresce como 1/*r2*, de modo que ela vai ao infinito conforme nos aproximamos da partícula pontual – isto é, à medida que *r* vai para zero, a força gravitacional cresce como 1/0, que é infinito.)

Mesmo numa teoria quântica, a força permanece infinita à medida que nos aproximamos de uma partícula pontual quântica. Durante décadas, uma série de regras misteriosas foram inventadas por Feynman e muitos outros para varrer este e muitos outros tipos de divergências para baixo do tapete. Mas, para uma teoria da gravitação quântica, nem a maleta de truques imaginada por Feynman é suficiente para remover todos os infinitos da teoria. O problema é que as partículas pontuais são infinitamente pequenas, o que significa que suas forças e energias são potencialmente infinitas.

Mas, analisando bem a teoria das cordas, descobrimos dois mecanismos que podem eliminar essas divergências. O primeiro mecanismo é devido à topologia das cordas; o segundo, devido à sua simetria, a chamada supersimetria.

A topologia da teoria das cordas é totalmente diferente da topologia das partículas pontuais, e portanto as divergências são muito diferentes. (Grosseiramente falando, como a corda tem um comprimento finito, isso quer dizer que as forças não crescem infinitamente à medida que nos aproximamos da corda. Perto da corda, as forças crescem só como $1/L^2$, onde L é o comprimento da corda, que é da ordem do comprimento de Planck de 10^{-33} cm. Este comprimento elimina as divergências.) Como a corda não é uma partícula pontual, mas tem um tamanho definido, pode-se mostrar que as divergências são “diluídas” ao longo da corda, e portanto todas as quantidades físicas se tornam finitas.

Embora pareça intuitivamente óbvio que as divergências da teoria das cordas são diluídas e, por conseguinte, finitas, a expressão matemática exata deste fato é bastante difícil e é dada pela “função modular elíptica”, uma das funções mais estranhas da matemática, com uma história tão fascinante que teve um papel-chave num filme de Hollywood. *Gênio indomável* é a história de um garoto rude da classe operária, do bairro pobre de Cambridge, representado por Matt Damon,

que exibe assombrosas habilidades matemáticas. Quando não está metido em brigas com os valentões do bairro, ele trabalha como zelador no MIT. Os professores do MIT ficam chocados ao descobrir que este valentão de rua é, na verdade, um gênio da matemática que pode simplesmente escrever as respostas para problemas matemáticos que parecem insolúveis. Percebendo que este valentão de rua era um autodidata em matemática avançada, um deles deixa escapar que ele é o "próximo Ramanujan".

De fato, *Gênio indomável* é mais ou menos baseado na vida de Srinivan Ramanujan, o grande gênio da matemática do século XX, um homem que cresceu na pobreza e no isolamento nos arredores de Madras, na Índia, na virada do último século. Vivendo isolado, ele teve de deduzir boa parte da matemática europeia do século XIX por conta própria. Sua carreira foi como uma supernova, iluminando os céus com o seu brilhantismo matemático por um breve espaço de tempo. Tragicamente, morreu de tuberculose em 1920, aos 37 anos de idade. Como Matt Damon em *Gênio indomável*, ele sonhava com equações matemáticas, neste caso a função modular elíptica, que possui estranhas mas belas propriedades matemáticas, mas só em 24 dimensões. Os matemáticos ainda estão tentando decifrar os "cadernos de anotações de Ramanujan" encontrados após a sua morte. Olhando o trabalho de Ramanujan, vemos que pode ser generalizado para oito dimensões e é diretamente aplicável à teoria das cordas. Os físicos acrescentam mais duas dimensões a fim de construir uma teoria física. (Por exemplo, os óculos de sol polarizados usam o fato de que a luz tem duas polarizações físicas; ela pode vibrar no sentido esquerda-direita e alto-baixo. Mas a formulação matemática da luz na equação de Maxwell é dada com quatro componentes. Duas destas quatro vibrações são, na verdade, redundantes.) Quando acrescentamos mais duas dimensões às funções de Ramanujan, os "números mágicos" da matemática passam a ser 10 e 26. Exatamente os "números mágicos" da teoria das cordas. Portanto, em certo sentido, Ramanujan estava fazendo teoria das cordas antes da Primeira Guerra Mundial!

As fabulosas propriedades dessas funções modulares elípticas explicam por que a teoria precisa existir em dez dimensões. Só neste número preciso de dimensões a maioria das divergências que afligem as outras teorias desaparecem, como num passe de mágica. Mas a topologia das cordas, por si só, não é eficiente o bastante para eliminar todas as divergências. As divergências restantes da teoria são removidas por uma segunda característica da teoria das cordas, a sua simetria.

SUPERSIMETRIA

A corda possui algumas das maiores simetrias conhecidas na ciência. No Capítulo 4, ao discutir a inflação e o Modelo Padrão, vemos que a simetria nos dá um belo modo de arrumar as partículas subatômicas em padrões agradáveis e elegantes. Os três tipos de quarks podem ser arrumados de acordo com a simetria $SU(_3)$, que alterna três quarks entre eles. Acredita-se que, na teoria GUT, os cinco tipos de quarks e léptons podem ser dispostos segundo a simetria $SU(_5)$.

Na teoria das cordas, essas simetrias anulam as divergências restantes da teoria. Visto que as simetrias são uma das mais belas e eficientes ferramentas à nossa disposição, pode-se esperar que a teoria do universo tenha de possuir a mais elegante e eficiente simetria conhecida na ciência. A escolha lógica é uma simetria que alterne não apenas os quarks, mas todas as partículas encontradas na natureza – isto é, as equações permanecem as mesmas se voltarmos a embaralhar todas as partículas subatômicas entre elas. Isso descreve exatamente a simetria da supercorda, chamada supersimetria.[16] *É a única simetria que alterna entre si todas as partículas subatômicas conhecidas na física.* Isto a torna a candidata ideal para a simetria que arruma todas as partículas do universo num único, elegante e unificado todo.

Se examinarmos as forças e partículas do universo, veremos que todas se encaixam em duas categorias: "férmions" e "bósons", dependendo do seu *spin*. Elas agem como minúsculos piões que podem girar em várias velocidades. Por exemplo, o fóton, uma partícula de luz que intermedeia a força eletromagnética, tem *spin*-1. Todas as partículas com *spin* inteiro são chamadas de bósons. Do mesmo modo, as partículas de matéria são descritas pelas partículas subatômicas com *spin* semi-inteiro – 1/2, 3/2, 5/2 e daí por diante. (Partículas de *spins* semi-inteiros são chamadas férmions e incluem o elétron, o neutrino e os quarks.) Assim, a supersimetria representa, elegantemente, a dualidade entre bósons e férmions, entre forças e matéria.

Numa teoria supersimétrica, todas as partículas subatômicas têm um parceiro: cada férmion está emparelhado com um bóson. Embora jamais tenhamos visto estes parceiros supersimétricos na natureza, os físicos apelidaram o parceiro do elétron de "selétron", com *spin* 0. (Os físicos acrescentam um "s" para descrever o superparceiro de uma partícula.) As interações fracas incluem partículas chamadas léptons; seus superparceiros são os sléptons. Da mesma forma, o quark pode ter um parceiro com *spin*-0 chamado squark. Em geral, os parceiros das partículas conhecidas (os quarks, léptons, grávitons, fótons e daí por diante) são chamados spartículas, ou superpartículas. Estas spartículas ainda não foram

encontradas em nossos aceleradores de partículas (provavelmente porque nossas máquinas não têm potência suficiente para criá-las).

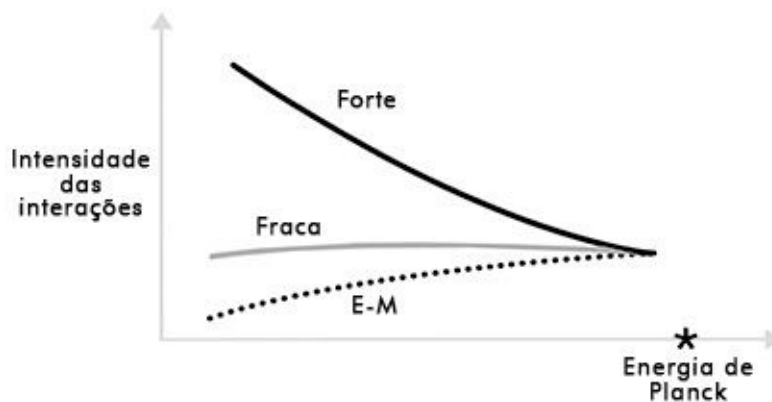
Mas, como todas as partículas subatômicas ou são férmions ou são bósons, uma teoria supersimétrica tem potencial para unificar todas as partículas subatômicas conhecidas em uma simetria simples. *Nós agora temos uma simetria grande o suficiente para incluir o universo inteiro.*

Imagine um floco de neve. Imagine que cada uma das seis pontas do floco represente uma partícula subatômica, com bósons e férmions em pontas alternadas. A beleza deste "superfloco de neve" é que quando o giramos ele continua o mesmo. Deste modo, o superfloco de neve unifica todas as partículas e suas spartículas. Portanto, se tentássemos formular uma teoria de campo unificada hipotética com apenas seis partículas, um candidato natural seria o superfloco de neve.

A supersimetria ajuda a eliminar os infinitos restantes que são fatais para outras teorias. Mencionamos antes que a maioria das divergências é eliminada por causa da topologia da corda – isto é, porque a corda tem um comprimento finito, as forças não crescem infinitamente quando nos aproximamos delas. Examinando as divergências restantes, descobrimos que elas são de dois tipos, das interações de bósons e dos férmions. Entretanto, essas duas contribuições sempre aparecem com sinais opostos, portanto a contribuição do fóton anula exatamente a contribuição do férmion! Em outras palavras, visto que as contribuições fermiônicas e bosônicas sempre têm sinais opostos, os infinitos restantes da teoria anulam-se mutuamente. Portanto, a supersimetria é mais do que um elemento decorativo; ela não só é uma simetria agradável do ponto de vista estético, porque unifica todas as partículas da natureza, mas é também essencial para anular as divergências da teoria das cordas.

Lembre-se da analogia do projeto de um foguete esguio, no qual as vibrações das asas podem acabar aumentando e arrancando-as do lugar. Uma solução é explorar o poder da simetria, redesenhar as asas para que as vibrações em uma asa anulem as vibrações na outra. Quando uma asa vibra no sentido horário, a outra asa vibra no sentido anti-horário, anulando a primeira vibração. Assim, a simetria do foguete, em vez de ser apenas um expediente artificial e artístico, é crucial para cancelar e equilibrar as tensões sobre as asas. Da mesma forma, a supersimetria anula as divergências fazendo as partes bosônicas e fermiônicas cancelarem-se mutuamente.

(A supersimetria também soluciona uma série de problemas altamente técnicos que na, verdade, são fatais para a teoria GUT. As inconsistências matemáticas complexas na teoria GUT exigem a supersimetria para eliminá-las.) [17]

Embora a supersimetria represente uma ideia poderosa, não existe atualmente nenhuma evidência experimental para sustentá-la. Isto pode ser devido ao fato dos superparceiros dos elétrons e prótons com que estamos familiarizados serem simplesmente massivos demais para serem produzidos nos aceleradores de partículas existentes hoje. Entretanto, há uma evidência atormentadora que mostra o caminho para a supersimetria. Sabemos agora que as intensidades das três forças quânticas são bem diferentes. De fato, em baixas energias, a força forte é trinta vezes mais forte do que a força fraca e cem vezes mais potente do que a força eletromagnética. Entretanto, nem sempre foi assim. No instante do Big Bang, suspeitamos de que todas as três forças tinham igual intensidade. Trabalhando no sentido inverso, os físicos podem calcular como teriam sido as intensidades das três forças no início dos tempos. Ao analisar o Modelo Padrão, os físicos encontram que as três forças parecem convergir em intensidade próximo do Big Bang. Mas elas não são exatamente iguais. Quando se acrescenta a supersimetria, entretanto, todas as três forças se encaixam perfeitamente e têm a mesma intensidade, exatamente o que uma teoria de campo unificado sugeriria. Embora isto não seja uma prova direta da supersimetria, no mínimo mostra que a supersimetria é coerente com a física conhecida.

As intensidades das forças fraca, forte e eletromagnética são muito diferentes no nosso mundo cotidiano. Entretanto, nas energias encontradas próximo do Big Bang, as intensidades destas forças deveriam convergir perfeitamente. Esta convergência ocorre se temos uma teoria supersimétrica. Portanto, a supersimetria talvez seja o elemento-chave de qual quer teo ria de campo unificada.

DERIVANDO O MODELO PADRÃO

Embora as supercordas não tenham nenhum parâmetro ajustável, a teoria das cordas pode oferecer soluções que são surpreendentemente próximas do Modelo

Padrão, com seus conjuntos heterogêneos de partículas subatômicas bizarras e dezenove parâmetros livres (como as massas das partículas e suas constantes de acoplamento). Além disso, o Modelo Padrão tem três cópias idênticas e redundantes de todos os quarks e léptons, que parecem totalmente desnecessárias. Por sorte, a teoria das cordas pode derivar muitas das características qualitativas do Modelo Padrão sem nenhum esforço. É quase como conseguir algo de graça. Em 1984, Philip Candelas, da Universidade do Texas, Gary Horowitz e Andrew Strominger, da Universidade da Califórnia, em Santa Barbara, e Edward Witten mostraram que, se você enrolasse seis das dez dimensões da teoria das cordas e ainda preservasse a supersimetria nas quatro dimensões restantes, o minúsculo mundo com seis dimensões poderia ser descrito pelo que os matemáticos chamavam de uma variedade de Calabi-Yau. Ao fazer algumas escolhas simples dos espaços de Calabi-Yau, eles mostraram que, a simetria da corda poderia ser quebrada para uma teoria extraordinariamente próxima do Modelo Padrão.

Deste modo, a teoria das cordas nos dá uma resposta simples para o motivo de o Modelo Padrão ter três gerações redundantes. Na teoria das cordas, o número de gerações ou redundâncias no modelo a quarks é relacionado com o número de "buracos" que temos na variedade de Calabi-Yau. (Por exemplo, uma rosquinha, uma câmara de ar e uma xícara de café são todas superfícies com um buraco. As armações de óculos têm dois buracos. As superfícies de Calabi-Yau podem ter um número arbitrário de buracos.) Assim, escolhendo simplesmente a variedade de Calabi-Yau que tem um certo número de buracos, podemos construir um Modelo Padrão com diferentes gerações de quarks redundantes. (Como nunca vemos o espaço de Calabi-Yau porque é muito pequeno, também nunca vemos que esse espaço tem buracos.) Há anos os físicos vêm tentando exaustivamente catalogar todos os espaços de Calabi-Yau possíveis, percebendo que a topologia desse espaço hexadimensional determina os quarks e léptons do nosso universo quadridimensional.

A TEORIA M

A empolgação em torno da teoria das cordas desencadeada em 1984 não duraria para sempre. Lá por meados da década de 1990, a moda da supercorda foi, aos poucos, perdendo combustível entre os físicos. Os problemas fáceis que a teoria apresentava foram solucionados, deixando os difíceis para trás. Um deles era que bilhões de soluções das equações das cordas estavam sendo descobertas.

Compactificando ou enrolando o espaço-tempo de diferentes modos, as soluções das cordas podiam ser escritas em qualquer dimensão, não apenas quatro. Cada uma das bilhões de soluções para as cordas correspondia a um universo matematicamente coerente.

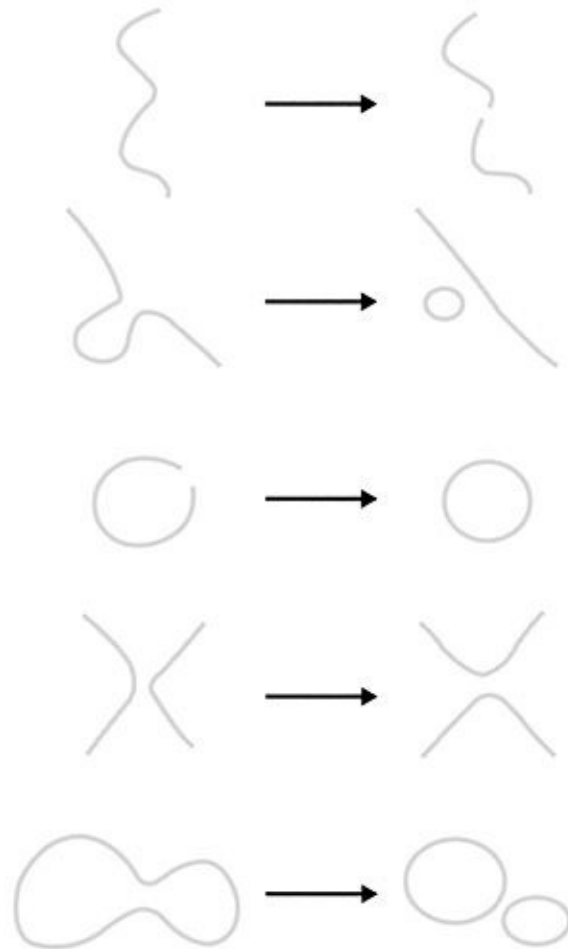
Os físicos, de repente, estavam se afogando em soluções de cordas. Notavelmente, muitas delas pareciam muito semelhantes ao nosso universo. Com uma escolha adequada de um espaço de Calabi-Yau, era relativamente fácil reproduzir muitas das características toscas do Modelo Padrão, com sua estranha coleção de quarks e léptons, até com o seu curioso conjunto de cópias redundantes. Entretanto, era dificílimo (e continua sendo um desafio até hoje) encontrar exatamente o Modelo Padrão, com os valores específicos dos seus dezenove parâmetros e três gerações redundantes. (O estonteante número de soluções de cordas foi, na verdade, bem recebido pelos físicos que acreditam na ideia do multiverso, visto que cada uma delas representa um universo paralelo totalmente coerente. Mas era uma pena os físicos terem dificuldade em encontrar exatamente o nosso próprio universo nesta miríade de universos.)

Uma das razões dessa dificuldade é que, no final, é preciso quebrar a supersimetria, visto que não observamos a supersimetria no nosso mundo de baixa energia. Na natureza, por exemplo, não vemos o selétron, o supercompanheiro do elétron. Se a supersimetria não está quebrada, então a massa de cada partícula deveria ser igual à massa da sua superpartícula. Os físicos acreditam que a supersimetria está quebrada, resultando em enormes massas para as superpartículas, fora do alcance dos atuais aceleradores de partículas. Mas, por enquanto, não apareceu ninguém com um mecanismo confiável para quebrar a supersimetria.

David Gross, do Instituto Kavli de Física Teórica, em Santa Barbara, observou que existem milhões e milhões de soluções para a teoria das cordas em três dimensões espaciais, o que é um tanto constrangedor, visto que não existe um meio satisfatório de escolher uma delas.

Havia outras questões incômodas. Uma das mais constrangedoras era o fato de haver cinco teorias de cordas coerentes. Era difícil imaginar que o universo pudesse tolerar cinco teorias de campo unificadas distintas. Einstein acreditava que Deus não teve outra escolha ao criar o universo, então por que deveria criar cinco universos?

A teoria original baseada na fórmula de Veneziano descreve o que se chama de teoria das supercordas do Tipo I. A teoria do Tipo I baseia-se tanto nas cordas abertas (cordas com duas pontas) como nas cordas fechadas (cordas circulares). Esta é a teoria que foi mais estudada no início da década de 1970. (Usando a teoria de campo das cordas, Kikkawa foi capaz de catalogar o conjunto completo

de interações das cordas do Tipo I. Nós mostramos que as cordas do Tipo I requerem cinco interações; para as cordas fechadas, mostramos que apenas um termo de interação é necessário.)

As cordas do Tipo I sofrem cinco interações possíveis, nas quais as cordas podem quebrar, se juntar e fissionar. Para as cordas fechadas, apenas a última interação é necessária (parecendo a mitose de células).

Kikkawa e eu também mostramos que é possível formular teorias plenamente coerentes só com cordas fechadas (aquelas que parecem um laço). Hoje, estas são chamadas de teorias das cordas do Tipo II, nas quais as cordas interagem por meio do pinçamento de uma corda circular em duas cordas menores (parecendo a mitose de uma célula).

A teoria das cordas mais realista é chamada de corda heterótica, formulada pelo grupo de Princeton (que inclui David Gross, Emil Martinec, Ryan Rohm e Jeffrey Harvey). As cordas heteróticas podem acomodar grupos de simetria chamados $E(_8)$ X $E(_8)$ ou $0(_{32})$, que são grandes o bastante para conter as teorias GUT. A corda heterótica baseia-se totalmente nas cordas fechadas. Nas décadas

de 1980 e 1990, quando os cientistas se referiam à supercorda, tacitamente estavam falando da corda heterótica, porque era rica o suficiente para permitir que se analisasse o Modelo Padrão e as teorias GUT. O grupo de simetria E(8) X $E(_8)$, por exemplo, pode ser reduzido a $E(_8)$, depois a $E(_6)$, que, por sua vez, é grande o bastante para incluir a simetria $SU(_3)$ X $SU(_2)$ X $U(_1)$ do Modelo Padrão.

O MISTÉRIO DA SUPERGRAVIDADE

Além das cinco teorias das supercordas, havia outra questão incômoda que tinha sido esquecida na pressa para solucionar a teoria das cordas. Em 1976, três físicos, Peter Van Nieuwenhuizen, Sergio Ferrara e Danil Freedman, na época trabalhando na Universidade do Estado de Nova York, em Stony Brook, descobriram que a teoria da gravitação original de Einstein podia se tornar supersimétrica se fosse introduzido só um campo novo, um superparceiro do campo de gravidade original (chamado gravitino, que quer dizer "pequeno gráviton", com *spin* 3/2). Esta nova teoria foi chamada de supergravidade e se baseava em partículas pontuais, não em cordas. Ao contrário da supercorda, com sua sequência infinita de notas e ressonâncias, a supergravidade tinha apenas duas partículas. Em 1978, foi demonstrado por Eugene Cremmer, Joël Scherk e Bernard Julia, da École Normale Supérieure, que a supergravidade mais geral podia ser escrita em onze dimensões. (Se tentássemos escrever a teoria da supergravidade em doze ou treze dimensões, surgiriam inconsistências matemáticas.) No final da década de 1970 e início dos anos 80, pensava-se que a supergravidade talvez fosse a famosa teoria de campo unificada. A teoria até inspirou Stephen Hawking a falar da iminência do "fim da física teórica", na sua aula inaugural ao assumir a Cátedra Lucasiana de Matemática, na Universidade de Cambridge, a mesma cadeira um dia ocupada por Isaac Newton. Mas a supergravidade em breve encontrou os mesmos problemas difíceis que haviam matado as teorias anteriores. Embora tivesse menos infinitos do que a teoria de campo comum, numa análise final, a supergravidade não era finita e estava potencialmente crivada de anomalias. Como todas as outras teorias de campo (exceto a teoria das cordas), ela deixou os cientistas na mão.

Outra teoria supersimétrica que pode existir em onze dimensões é a teoria da supermembrana. Embora a corda tenha apenas uma dimensão que define o seu comprimento, a supermembrana pode ter duas ou mais dimensões porque representa uma superfície. Notavelmente, mostrou-se que dois tipos de

membranas (duas-brana e cinco-brana) são coerentes em onze dimensões também.

Entretanto, as supermembranas também tinham problemas: é extraordinariamente difícil trabalhar com elas, e suas teorias quânticas, na verdade, divergem. Enquanto cordas de violino são tão simples a ponto dos pitagóricos gregos terem derivado suas leis harmônicas 2 mil anos atrás, as membranas são tão difíceis que até hoje ninguém tem uma teoria musical satisfatória baseada nelas. Além disso, ficou demonstrado que essas membranas são instáveis e, no final, decaem em partículas pontuais.

Assim, lá por meados da década de 1990, os físicos tinham vários mistérios. Por que havia cinco teorias de cordas em dez dimensões? E por que havia duas teorias em onze dimensões, supergravidade e supermembranas? Além disso, todas elas possuíam supersimetria.

A DÉCIMA PRIMEIRA DIMENSÃO

Em 1994, uma bomba explodiu. Outra descoberta sensacional aconteceu e, mais uma vez, mudou toda a paisagem. Edward Witten e Paul Townsend, da Universidade de Cambridge, descobriram matematicamente que a teoria das cordas com dez dimensões era, na verdade, uma aproximação de uma teoria superior e misteriosa, de onze dimensões, de origem desconhecida. Witten, por exemplo, mostrou que se pegássemos uma teoria semelhante à membrana em onze dimensões e a enrolássemos em uma dimensão, então ela se tornava uma teoria de cordas do Tipo IIa em dez dimensões!

Logo depois, descobriu-se que era possível mostrar que todas as cinco teorias das cordas eram a mesma – apenas aproximações diferentes da mesma teoria misteriosa em onze dimensões. Visto que as membranas de diferentes espécies podem existir em onze dimensões, Witten chamou a essa nova teoria de teoria M. Mas não só ela unificava as cinco teorias de cordas diferentes como também explicava o mistério da supergravidade.

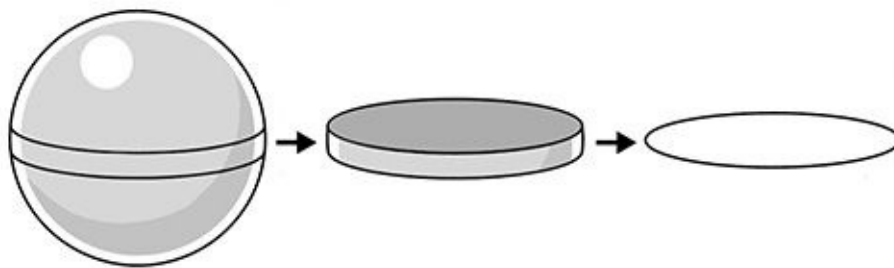
A supergravidade, se você lembra, era uma teoria de onze dimensões que continha apenas duas partículas com massa zero, o gráviton original de Einstein, mais o seu parceiro supersimétrico (chamado gravitino). A teoria M, entretanto, tem um número infinito de partículas com massas diferentes (correspondendo às infinitas vibrações que podem ondular sobre algum tipo de membrana em onze dimensões). Mas a teoria M pode explicar a existência da supergravidade se supusermos que uma minúscula porção da teoria M (apenas as partículas sem

massa) for a antiga teoria da supergravidade. Em outras palavras, a teoria da supergravidade é um subconjunto pequenino da teoria M. Similarmente, se pegarmos essa misteriosa teoria semelhante à membrana em onze dimensões e enrolarmos uma dimensão, a membrana vira uma corda. De fato, ela se transforma exatamente na teoria das cordas do Tipo II! Por exemplo, se olharmos uma esfera em onze dimensões e, em seguida, enrolarmos uma dimensão, a esfera entra em colapso, e seu equador se torna uma corda fechada. Vemos que a teoria das cordas pode ser vista como a fatia de uma membrana em onze dimensões se enrolarmos a décima primeira dimensão num pequeno círculo.

Por conseguinte, encontramos um belo e simples modo de unificar toda a física de dez dimensões e de onze dimensões numa única teoria! Foi um *tour de force* conceitual.

Eu ainda lembro o choque gerado por esta explosiva descoberta. Eu estava dando uma palestra na Universidade de Cambridge na época. Paul Townsend teve a gentileza de me apresentar à plateia. Mas, antes da minha palestra, ele explicou muito animado esse novo resultado, que na décima primeira dimensão as várias teorias das cordas podem ser unificadas numa única teoria. O título da minha palestra mencionava a décima dimensão. Ele me disse, antes que eu começasse a falar, que, se isso tivesse sucesso, o título da minha palestra estaria obsoleto.

Eu pensei comigo mesmo, “Epa”. Ou ele estava completamente louco ou a comunidade física ia virar de cabeça para baixo.

Eu não podia acreditar no que estava escutando, portanto parti para cima dele com uma série de perguntas. Observei que as supermembranas em onze dimensões, uma teoria que ele ajudara a formular, eram inúteis porque eram matematicamente intratáveis, e, pior, elas eram instáveis. Ele reconheceu que isso era um problema, mas estava confiante de que estas questões se resolveriam no futuro.

Uma corda em dez dimensões pode emergir de uma membrana em onze dimensões ao se fatiar ou enrolar uma dimensão. O equador de uma membrana se torna a corda depois que uma dimensão entra em colapso. Existem cinco modos em que essa redução pode ocorrer, dando origem às cinco

teorias de super cordas diferentes em dez dimensões.

Eu também disse que a supergravidade em onze dimensões não era finita; ela fracassou, como todas as outras teorias, exceto a teoria das cordas. Isso não era mais um problema, respondeu ele com calma. Porque a supergravidade não passava de uma aproximação de uma teoria maior, ainda misteriosa, a teoria M, que *era* finita – na verdade, era a teoria das cordas reformulada na décima primeira dimensão em termos de membranas.

Em seguida, eu disse que as supermembranas eram inaceitáveis porque ninguém jamais conseguira explicar como membranas interagem ao colidirem e voltam a se formar (como eu tinha feito na minha tese de doutorado, anos atrás, para a teoria das cordas). Ele admitiu que isso era um problema, mas estava confiante de que isso, também, poderia ser resolvido.

Por último, eu disse que a teoria M não era realmente uma teoria, visto que suas equações básicas não eram conhecidas. Ao contrário da teoria das cordas (que podia ser expressa em termos das equações do campo de cordas simples que escrevi, anos atrás, e que englobavam a teoria inteira), as membranas não tinham nenhuma teoria de campo. Ele concordou com esse argumento também. Mas continuou confiante de que as equações para a teoria M acabariam sendo encontradas.

Eu não entendia mais nada. Se ele estava certo, a teoria das cordas ia outra vez sofrer uma transformação radical. As membranas, que um dia foram relegadas à lixeira da história da física, de repente ressuscitavam.

A origem dessa revolução é que a teoria das cordas continua evoluindo de marcha a ré. Até hoje, ninguém conhece os princípios físicos simples que sustentam a teoria inteira. Gosto de imaginar isto como caminhar no deserto e tropeçar por acaso numa pequena e bela pedrinha. Ao limparmos a areia, descobrimos que a pedrinha é, na verdade, a ponta de uma gigantesca pirâmide enterrada sob toneladas de areia. Depois de décadas de penosas escavações, encontramos hieroglifos misteriosos, câmaras ocultas e túneis. Um dia, encontraremos o andar térreo e finalmente abriremos a porta.

O MUNDO BRANA

Uma das novidades da teoria M é que ela introduz não somente cordas, mas todo um zoológico de membranas de diferentes dimensões. Neste quadro, as partículas pontuais são chamadas de “zero-brana”, porque são infinitamente pequenas e não têm dimensão. Uma corda é então uma “uma-brana”, porque é

um objeto unidimensional definido pelo seu comprimento. Uma membrana é uma "duas-brana", como a superfície de uma bola de basquete, definida pelo seu comprimento e largura. (Uma bola de basquete pode flutuar em três dimensões, mas a sua superfície é apenas bidimensional.) Nosso universo poderia ser algum tipo de "três-brana", um objeto tridimensional que tem comprimento, largura e profundidade. (Como um engraçadinho notou, se o espaço tem *p* dimensões, *p* sendo um número inteiro, então o nosso universo é um *p*-brana, pronunciado em inglês como "pea-brain" ou cérebro de ervilha. Um mapa mostrando todos estes *pea-brains* chama-se uma "brain-scan" ou tomografia cerebral.)

Existem várias maneiras de se poder pegar uma membrana e colapsá-la numa corda. Em vez de enrolar a décima primeira dimensão, podemos também fatiar o equador de uma membrana de onze dimensões, criando uma fita circular. Se deixarmos a espessura da fita encolher, então a fita se torna uma corda de dez dimensões. Petr Horava e Edward Witten mostraram que derivamos assim a corda heterótica.

De fato, pode-se mostrar que existem cinco modos para reduzir a teoria M de onze dimensões para dez dimensões, produzindo as cinco teorias das supercordas. A teoria M nos dá uma resposta rápida e intuitiva para o mistério da existência de cinco teorias de cordas diferentes. Imagine estar de pé no topo de uma grande montanha olhando para as planícies. Do ponto de vista da terceira dimensão, podemos ver as diferentes partes da planície unificadas num único quadro coerente. Do mesmo modo, do ponto de vista da décima primeira dimensão, olhando para baixo na décima dimensão, vemos a colcha formada pelas cinco teorias das supercordas como nada mais do que retalhos diferentes da décima primeira dimensão.

DUALIDADE

Embora Paul Townsend não pudesse responder à maioria das perguntas que lhe fiz naquela época, o que acabou me convencendo da correção desta ideia foi o poder de mais outra simetria. A teoria M não só tem o maior conjunto de simetrias conhecido pela física; ela tem mais um curinga na manga: a dualidade, que dá à teoria M a incrível capacidade de absorver todas as cinco teorias das supercordas em uma só.

Considere a eletricidade e o magnetismo, que são governados pelas equações de Maxwell. Há muito tempo se sabia que, se você simplesmente trocar o campo elétrico com o campo magnético, as equações permanecem quase iguais. Esta

simetria pode ser tornada exata se você puder acrescentar monopolos (polos isolados de magnetismo) às equações de Maxwell. As equações de Maxwell modificadas permanecem exatamente as mesmas se trocarmos o campo elétrico pelo campo magnético e trocarmos a carga elétrica *e* com o inverso da carga magnética *g*. Isto significa que a eletricidade (se a carga elétrica é pequena) é exatamente equivalente ao magnetismo (se a carga magnética é grande). Esta equivalência se chama dualidade.

No passado, esta dualidade era considerada nada mais do que uma curiosidade científica, um truque de salão, visto que ninguém jamais viu um monopolo até hoje. Entretanto, os físicos acharam notável que as equações de Maxwell tivessem uma simetria oculta que a natureza aparentemente não usa (pelo menos no nosso setor do universo).

Do mesmo modo, as cinco teorias de cordas são todas duais umas com relação às outras. Considere a teoria das cordas do Tipo I e a heterótica S0($_{32}$). Normalmente, estas duas teorias nem se parecem. A teoria do Tipo I baseia-se em cordas fechadas e abertas que podem interagir de cinco maneiras diferentes, com cordas se partindo e juntando. A corda S0($_{32}$), por outro lado, está totalmente baseada em cordas fechadas que só têm um modo possível de interagir, sofrendo mitose como uma célula. A corda do Tipo I é definida totalmente no espaço de dez dimensões, enquanto a corda S0($_{32}$) é definida com um conjunto de vibrações definidas no espaço de 26 dimensões.

Normalmente, você não encontra duas teorias que pareçam tão desiguais. Entretanto, assim como no eletromagnetismo, as teorias têm uma poderosa dualidade: se você deixar a intensidade das interações aumentar, as cordas do Tipo I mudam para cordas heteróticas S0($_{32}$), como num passe de mágica. (Este resultado é tão inesperado que, ao vê-lo pela primeira vez, fiquei perplexo. Na física, é raro ver duas teorias que pareçam totalmente desiguais, em todos os aspectos, mostrando-se matematicamente equivalentes.)

LISA RANDALL

Talvez a maior vantagem da teoria M sobre a teoria das cordas é que essas dimensões superiores, em vez de serem bem pequenas, podem, na verdade, ser bastante grandes e até observáveis no laboratório. Na teoria das cordas, seis das dimensões superiores precisam estar enroladas numa bolinha, uma variedade de Calabi-Yau, pequena demais para ser observada com os instrumentos que temos

atualmente. Estas seis dimensões foram todas compactificadas, de modo que entrar numa dimensão superior é impossível – uma grande frustração para aqueles que esperariam um dia se alçar para um hiperespaço infinito, em vez de simplesmente pegar breves atalhos pelo hiperespaço compactificado através de buracos de minhoca.

Entretanto, a teoria M também apresenta membranas; é possível ver todo o nosso universo como uma membrana flutuando num universo muito maior. Consequentemente, nem todas estas dimensões superiores têm de estar enroladas numa bola. Algumas, de fato, podem ser enormes, infinitas na sua extensão.

Uma física que tentou explorar este novo quadro do universo é Lisa Randall, de Harvard. Parecendo a atriz Jodie Foster, Randall parece deslocada numa profissão competitiva, movida a testosterona e intensamente masculina que é a física teórica. Ela está atrás da ideia de que, se o universo é realmente uma três-brana flutuando no espaço de dimensões superiores, talvez isso explique por que a gravitação é muito mais fraca do que as outras três forças.

Randall foi criada no Queens, Nova York (o mesmo bairro imortalizado por Archie Bunker). Apesar de não demonstrar nenhum interesse particular pela física quando criança, ela adorava a matemática. Embora eu acredite que as crianças nascem todas cientistas, nem todos nós conseguimos continuar com o nosso amor pela ciência quando adultos. Um dos motivos é que damos de cara com o muro de tijolos que é a matemática.

Gostemos ou não disso, se vamos seguir uma carreira científica, vamos acabar tendo de aprender a “linguagem da natureza”: a matemática. Sem a matemática, podemos ser apenas observadores passivos da dança da natureza, em vez de ativos participantes. Como disse Einstein certa vez: “A matemática pura é, a seu modo, a poesia das ideias lógicas.”[18] Permitam-me fazer uma analogia. Pode-se amar a civilização e a literatura francesas, mas, para compreender realmente como o francês pensa, é preciso aprender a sua língua e a conjugação dos seus verbos. O mesmo vale para a ciência e a matemática. Galileu escreveu: “[O universo] não pode ser lido até termos aprendido a linguagem e estarmos familiarizados com os caracteres com a qual ela é escrita. Ela é escrita na linguagem matemática, e as letras são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, sem as quais é humanamente impossível compreender uma só palavra.”[19]

Mas os matemáticos costumam se orgulhar de serem os menos práticos de todos os cientistas. Quanto mais abstrata e inútil for a matemática, melhor. O que fez Randall mudar de direção quando ainda estudava em Harvard, no início dos anos de 80, foi o fato de adorar a ideia de que a física possa criar “modelos” do

universo. Quando nós, físicos, apresentamos uma nova teoria, ela não se baseia simplesmente num monte de equações. As novas teorias físicas, em geral, estão baseadas em modelos idealizados e simplificados, que se assemelham a um fenômeno. Estes modelos costumam ser gráficos, pictóricos e simples de entender. O modelo do quark, por exemplo, baseia-se na ideia de que dentro de um próton existem três pequenos elementos, os quarks. Randall ficou impressionada com o fato de que modelos simples, baseados em quadros físicos, pudessem explicar adequadamente grande parte do universo.

Na década de 1990, ela passou a se interessar pela teoria M, pela possibilidade de que o universo inteiro fosse uma membrana. Ela concentrou a sua atenção no que talvez seja o aspecto mais intrigante da gravitação, o de que a sua intensidade é astronomicamente pequena. Nem Newton, nem Einstein, tinham tratado desta questão fundamental, mas misteriosa. Enquanto as outras três forças do universo (eletromagnetismo, a força nuclear fraca e a força nuclear forte) tinham mais ou menos a mesma intensidade, a gravidade era totalmente diferente.

Em particular, as massas dos quarks são muito menores do que a massa associada com a gravitação quântica. "A discrepância não é pouca; as duas escalas de massas estão separadas por dezesseis ordens de magnitude! Somente teorias que expliquem esta enorme razão são candidatas prováveis para teorias que sustentem o Modelo Padrão", diz Randall.[20]

O fato de a gravidade ser tão fraca explica por que as estrelas são tão grandes. A Terra, com seus oceanos, montanhas e continentes, nada mais é do que um grãozinho de poeira comparada com o tamanho massivo do Sol. Mas como a gravidade é tão fraca, é preciso a massa de uma estrela inteira para espremer hidrogênio de modo a poder superar a força de repulsão elétrica do próton. Assim, as estrelas são tão massivas porque a gravidade é muito fraca, comparada com as outras forças.

Com a teoria M gerando tanta excitação na física, vários grupos tentaram aplicar esta teoria ao nosso universo. Suponha que o universo seja uma três-brana flutuando num mundo pentadimensional. Desta vez, as vibrações na superfície da três-brana correspondem aos átomos que vemos a nossa volta. Por conseguinte, estas vibrações jamais deixam a três-brana e portanto não podem se desviar para a quinta dimensão. Mesmo que o nosso universo flutue na quinta dimensão, nossos átomos não podem deixar o nosso universo porque eles representam vibrações sobre a superfície da três-brana. Isto então pode responder à pergunta que Kaluza e Einstein fizeram em 1921: onde está a quinta dimensão? A resposta é: estamos flutuando na quinta dimensão, mas não podemos entrar nela porque nossos corpos estão presos à superfície de uma três-

brana.

Mas existe uma falha em potencial neste quadro. A gravitação representa a curvatura do espaço. Portanto, ingenuamente poderíamos esperar que a gravidade pudesse preencher todo o espaço pentadimensional, e não apenas a membrana tridimensional; ao fazer isso, a gravidade se diluiria à medida que deixa a membrana tridimensional. Isto enfraquece a força da gravidade. É uma boa coisa para sustentar a teoria, porque a gravidade, nós sabemos, é muito mais fraca do que as outras forças. Mas ela enfraquece demais a gravidade: a lei do inverso do quadrado de Newton seria violada, mas a lei do inverso do quadrado funciona perfeitamente bem para planetas, estrelas e galáxias. Em lugar algum do espaço encontramos uma lei do inverso do cubo para a gravidade. (Imagine uma lâmpada elétrica iluminando um quarto. A luz se espalha numa esfera. A intensidade da luz é diluída através desta esfera. Por conseguinte, se você dobrar o raio da esfera, a luz se espalha sobre uma esfera com quatro vezes a área. Em geral, se uma lâmpada existe num espaço dimensional n, então a sua luz se dilui através da esfera, cuja área aumenta conforme o raio é elevado à potência $n - 1$.)

Para responder a esta questão, um grupo de físicos, inclusive N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos e G. Dvali, sugeriu que talvez a quinta dimensão não seja infinita, mas está a um milímetro de distância da nossa, flutuando logo acima do nosso universo, como na história de ficção científica de H. G. Wells. (Se a quinta dimensão estivesse mais distante do que um milímetro, então ela poderia criar violações imensuráveis da lei do inverso do quadrado de Newton.) Se a quinta dimensão está apenas a um milímetro de distância, esta previsão poderia ser testada procurando-se minúsculos desvios da lei da gravitação de Newton ao longo de distâncias muito pequenas. A lei da gravitação de Newton funciona muito bem em distâncias astronômicas, mas nunca foi testada ao tamanho de um milímetro. Experimentalistas agora estão correndo para testar desvios mínimos da lei do inverso do quadrado de Newton. Este resultado é atualmente o tema de vários experimentos em curso, como veremos no Capítulo 9.

Randall e seu colega Raman Sundrum decidiram adotar uma nova abordagem, para reexaminar a possibilidade de que a quinta dimensão estivesse não a um milímetro de distância, mas talvez fosse até infinita. Para fazer isto, eles tinham de explicar como a quinta dimensão poderia ser infinita sem destruir a lei da gravitação de Newton. Foi aí que Randall encontrou uma possível resposta para o enigma. Ela descobriu que a membrana tridimensional tem uma atração gravitacional própria que impede os grávitons de escapar livremente para a quinta dimensão. Os grávitons têm de se prender à membrana tridimensional (como moscas apanhadas no papel pega-moscas) devido à gravidade exercida

pela membrana tridimensional. Por conseguinte, quando tentamos medir a lei de Newton, descobrimos que ela é aproximadamente correta no nosso universo. A gravidade se dilui e enfraquece à medida que deixa a membrana tridimensional e escapa para a quinta dimensão, mas não vai muito longe: a lei do inverso do quadrado ainda é mais ou menos mantida porque os grávitons continuam atraídos pela três-brana. (Randall também introduziu a possibilidade da existência de uma segunda membrana paralela à nossa. Se calcularmos a sutil interação da gravidade nas duas membranas, ela pode ser ajustada de modo que possamos numericamente explicar a debilidade da gravidade.)

“Houve muito alvoroço quando se sugeriu que dimensões extras oferecem meios alternativos para tratar a origem do [problema da hierarquia]”, diz Randall. “Dimensões espaciais adicionais podem parecer uma ideia maluca de início, mas há fortes razões para se acreditar que realmente existam dimensões extras de espaço.”[21]

Se estes físicos estão certos, então a gravitação é tão forte quanto as outras forças, só que a gravidade é atenuada porque uma parte dela vaza para o espaço dimensional superior. Uma profunda consequência desta teoria é que a energia na qual estes efeitos quânticos se tornam mensuráveis talvez não seja a energia de Planck (10^{19} bilhões de eletron-volts), como se pensava antes. Talvez apenas trilhões de elétron-volts sejam necessários, caso em que o Grande Colisor de Hadron (programado para acabar de ser construído em 2007) pode ser capaz de captar efeitos gravitacionais quânticos nesta década. Isto estimulou um interesse considerável entre os físicos experimentais em procurar por partículas exóticas além do Modelo Padrão das partículas subatômicas. Talvez os efeitos gravitacionais quânticos estejam ali bem ao nosso alcance.

As membranas também dão uma resposta plausível, embora especulativa, para o enigma da matéria escura. No romance de H. G. Wells, *O homem invisível*, o protagonista pairava na quarta dimensão e, portanto, era invisível. Do mesmo modo, imagine que exista um mundo paralelo pairando bem acima do nosso próprio universo. Qualquer galáxia nesse universo paralelo seria invisível para nós. Mas como a gravitação é causada pela curvatura do hiperespaço, a gravidade poderia saltar de um universo para outro. Qualquer galáxia grande nesse universo seria atraída através do hiperespaço para uma galáxia no nosso universo. Assim, ao medirmos as propriedades das nossas galáxias, descobriríamos que sua atração gravitacional é muito mais forte do que a esperada das leis de Newton, porque há outra galáxia escondida bem atrás dela, flutuando numa membrana próxima. Esta galáxia escondida empoleirada por trás da nossa galáxia seria invisível, flutuando numa outra dimensão, mas teria a

aparência de um halo cercando a nossa galáxia contendo 90% da massa. Assim, a matéria escura pode ser causada pela presença de um universo paralelo.

UNIVERSOS EM COLISÃO

Talvez seja um tanto prematuro aplicar seriamente a teoria M à cosmologia. Não obstante, os físicos tentaram aplicar a “física das membranas” para dar um novo efeito à habitual abordagem inflacionária do universo. Três cosmologias possíveis chamaram uma certa atenção.

A primeira cosmologia tenta responder à pergunta: por que vivemos em quatro dimensões de espaço-tempo? Em princípio, a teoria M pode ser formulada em todas as dimensões até onze, de modo que parece um mistério que quatro dimensões sejam escolhidas. Robert Brandenberger e Cumrun Vafa especularam que isto talvez se deva a uma determinada geometria das cordas.

No cenário deles, o universo começou perfeitamente simétrico, com todas as dimensões superiores firmemente enroladas na escala de Planck. O que impediu o universo de se expandir foram os laços de cordas que se enroscaram bem apertados em torno das várias dimensões. Imagine uma espiral comprimida que não pode se expandir porque está firmemente envolta pelas cordas. Se as cordas de algum modo se rompem, a espiral de repente se solta e expande.

Nestas dimensões minúsculas, o universo é impedido de se expandir porque temos espirais de cordas e de anticordas (grosseiramente falando, as anticordas giram na direção oposta à das cordas). Se uma corda e uma anticorda colidem, elas podem se aniquilar e desaparecer, como um nó que se desfaz. Em dimensões muito grandes, há tanto “espaço” que as cordas e anticordas raramente colidem e jamais se desenrolam. Entretanto, Brandenberger e Vafa mostraram que, em três ou menos dimensões espaciais, é mais provável que as cordas acabem colidindo com as anticordas. Uma vez ocorrendo estas colisões, as cordas se desenrolam e as dimensões saltam rapidamente para fora, dando-nos o Big Bang. O aspecto fascinante deste quadro é que a topologia das cordas explica mais ou menos por que vemos o familiar espaço-tempo quadridimensional a nossa volta. Universos dimensionais superiores são possíveis, porém é menos provável que os vejamos, porque ainda estão enrolados firmemente por cordas e anticordas.

Mas existem outras possibilidades na teoria M. Se os universos podem espremer ou germinar uns aos outros, gerando nossos universos, então talvez o inverso possa acontecer: os universos podem colidir, criando centelhas no processo, gerando novos universos. Num cenário desse tipo, talvez o Big Bang

tenha ocorrido devido à colisão de duas branas-universo paralelas e não da germinação de um universo.

Esta segunda teoria foi proposta pelos físicos Paul Steinhardt, de Princeton, Burt Ovrut, da Universidade da Pensilvânia, e Neil Turok, da Universidade de Cambridge, que criaram o universo "equipirótico" ("conflagração" em grego) para incorporar os novos aspectos da M-brana, no qual algumas das dimensões extra poderiam ser grandes e até de tamanho infinito. Eles começam com duas membranas tridimensionais planas, homogêneas e paralelas que representam o estado mais baixo de energia. Originalmente, elas começam como universos frios e vazios, mas a gravidade aos poucos as empurra. Elas acabam colidindo, e a imensa energia cinética da colisão é convertida na matéria e na radiação que compõem o nosso universo. Alguns chamam a isto de teoria da "grande colisão" em vez de teoria do Big Bang, porque o cenário envolve a colisão de duas branas.

A força da colisão faz os dois universos se afastarem. À medida que essas duas membranas separam-se uma da outra, elas resfriam rapidamente, dando-nos o universo que vemos hoje. O resfriamento e a expansão continuam por trilhões de anos, até que os universos aproximam-se do zero absoluto de temperatura e a densidade é apenas de um elétron por quatrilhão de anos-luz cúbicos de espaço; com efeito, o universo fica vazio e inerte. Mas a gravitação continua atraindo as duas membranas, até que, trilhões de anos depois, elas colidem de novo, e o ciclo se repete novamente.

Este novo cenário pode nos dar os bons resultados da inflação (achatamento, uniformidade). Ele soluciona a questão de por que o universo é tão achatado – porque as duas membranas eram chatas, para início de conversa. O modelo também pode explicar o problema do horizonte, isto é, por que o universo parece tão extraordinariamente uniforme em todas as direções. É porque a membrana tem muito tempo para lentamente alcançar o equilíbrio. Assim, enquanto a inflação explica o problema do horizonte fazendo o universo inflar abruptamente, este cenário resolve o problema do horizonte da maneira oposta, fazendo o universo chegar ao equilíbrio em câmara lenta.

(Isto também significa que existem possivelmente outras membranas flutuando no hiperespaço e que talvez colidam com o nosso universo no futuro, criando outra grande colisão. Visto que nosso universo está acelerando, outra colisão pode, de fato, ser provável. Steinhardt acrescenta: "Talvez a aceleração da expansão do universo seja um precursor dessa colisão. Não é uma ideia agradável.")[22]

Qualquer cenário que desafie drasticamente o quadro dominante de inflação está fadado a evocar reações inflamadas. De fato, uma semana depois do artigo

ser colocado na Internet, Andrei Linde e sua mulher, Renata Kallosh (ela mesma uma teórica das cordas), e Lev Kofman, da Universidade de Toronto, publicaram uma crítica deste cenário. Linde criticou este modelo porque qualquer coisa tão catastrófica quanto a colisão de dois universos poderia criar uma singularidade, onde temperaturas e densidades se aproximam do infinito. “Seria como jogar uma cadeira dentro de um buraco escuro, que transformaria em vapor as partículas da cadeira, e dizer que, de algum modo, isso preserva a forma do objeto”, protestou Linde.[23]

Steinhardt retrucou, dizendo: “O que parece uma singularidade em quatro dimensões pode não ser em cinco dimensões... Quando as branas colidem, a quinta dimensão desaparece temporariamente, mas as branas em si não desaparecem. Portanto, a densidade e a temperatura não se tornam infinitas, e o tempo continua passando. Embora a relatividade geral fique louca de raiva, a teoria das cordas, não. E o que antes parecia um desastre no nosso modelo agora parece administrável.”

Steinhardt tem a seu lado o poder da teoria M, que é conhecida por eliminar singularidades. De fato, é por isso que os físicos teóricos precisam de uma teoria da gravitação quântica para início de conversa, para eliminar todos os infinitos. Linde, entretanto, chama atenção para uma vulnerabilidade conceitual deste quadro, de que as branas existiram num estado achatado e uniforme no início. “Se você começa com perfeição, talvez seja capaz de explicar o que vê... mas você ainda não respondeu à pergunta: por que o universo deve começar perfeito?”,[24] diz Linde. Steinhardt responde: “Chato mais chato é igual a chato.”[25] Em outras palavras, é preciso supor que as membranas começaram no estado mais baixo de energia sendo chatas.

Alan Guth manteve a mente aberta. “Não acho que Paul e Neil chegaram perto de provar a sua tese. Mas as ideias deles, certamente, merecem exame”, ele diz.[26] Ele vira a mesa e desafia os teóricos das cordas a explicar a inflação: “A longo prazo, acho inevitável que a teoria das cordas e a teoria M tenham que incorporar a inflação, visto que ela parece ser uma solução óbvia para o problema que foi destinada a resolver – isto é, por que o universo é tão uniforme e achatado![27]” Portanto, ele quer saber: pode a teoria M derivar o quadro de inflação padrão?

Por fim, existe outra teoria concorrente da cosmologia que emprega a teoria das cordas, a teoria do “pré-Big Bang”, de Gabriele Veneziano, o físico que ajudou a iniciar a teoria das cordas em 1968. Na sua teoria, o universo, na verdade, começou como um buraco negro. Se quisermos saber como é o interior de um buraco negro, basta olhar o que há do lado de fora.

Nesta teoria, o universo é, na verdade, infinitamente velho e começou no passado distante quase vazio e frio. A gravitação começou a criar aglomerados de matéria por todo o universo que aos poucos se condensaram em regiões tão densas que viraram buracos negros. Horizontes de eventos começaram a se formar ao redor de cada buraco negro, separando, permanentemente, o exterior do horizonte de eventos do interior. Dentro de cada horizonte de eventos, a matéria continuou sendo comprimida pela gravidade, até que o buraco negro acabou atingindo o comprimento de Planck.

Neste ponto, a teoria das cordas assume o comando. O comprimento de Planck é a distância mínima permitida pela teoria das cordas. O buraco negro, então, começa a ressoar numa imensa explosão, causando o Big Bang. Visto que este processo pode se repetir por todo o universo, isto significa que talvez haja outros universos/buracos negros distantes.

(A ideia de que o nosso universo pode ser um buraco negro não é tão artificial quanto parece. Temos a noção intuitiva de que um buraco negro deva ser extremamente denso, com um enorme e esmagador campo gravitacional, mas nem sempre é este o caso. O tamanho do horizonte de eventos de um buraco negro é proporcional à sua massa. Quanto maior a massa de um buraco negro, maior o seu horizonte de eventos. Mas um horizonte de eventos maior implica que a matéria se espalhe por um volume maior; consequentemente, a densidade, na verdade, diminui à medida que a massa cresce. De fato, se um buraco negro pesasse tanto quanto o nosso universo, seu tamanho seria aproximadamente o mesmo e sua densidade seria bastante baixa, comparável à densidade do nosso universo.)

Alguns astrofísicos, entretanto, não se impressionaram com a aplicação da teoria das cordas e da teoria M à cosmologia. Joel Primack, da Universidade da Califórnia, em Santa Cruz, é menos generoso do que outros: “Acho besteira dar tanta importância a estas coisas... As ideias nestes artigos, em essência, não podem ser testadas.”[28] Só o tempo dirá se Primack está certo, mas, como o ritmo da teoria das cordas vem se acelerando, talvez encontremos a solução deste problema em breve e ela talvez venha de nossos satélites espaciais. Como veremos no Capítulo 9, uma nova geração de detectores de ondas gravitacionais a serem enviados no espaço cósmico em 2020, como a LISA, talvez nos torne capazes de descartar ou verificar algumas destas teorias. Se a teoria da inflação estiver correta, por exemplo, a LISA deverá detectar violentas ondas gravitacionais criadas pelo processo inflacionário original. O universo equipirótico, entretanto, prevê uma lenta colisão entre universos e, portanto, ondas gravitacionais muito mais suaves. A LISA deverá ser capaz de descartar uma destas teorias experimentalmente. Em outras palavras, codificado nas ondas

gravitacionais criadas pelo Big Bang original estão os dados necessários para determinar que hipótese é a correta. A LISA talvez possa, pela primeira vez, fornecer resultados experimentais sólidos referentes à inflação, à teoria das cordas e à teoria M.

MINIBURACOS NEGROS

Já que a teoria das cordas é mesmo uma teoria de todo o universo, testá-la diretamente requer criar um universo em laboratório (ver Capítulo 9). Normalmente, esperamos que ocorram efeitos quânticos provenientes da gravitação na energia de Planck, que é um quatrilhão de vezes mais potente do que o nosso acelerador de partículas mais poderoso, tornando impossíveis os testes diretos da teoria das cordas. Mas, se existe mesmo um universo paralelo a menos de um milímetro do nosso, então a energia em que ocorrem a unificação e os efeitos quânticos pode ser bem baixa, ao alcance da próxima geração de aceleradores de partículas, como o Grande Colisor Hadron (Large Hadron Collider–LHC). Este, por sua vez, detonou uma avalanche de interesse pela física dos buracos negros, sendo o mais animador o “miniburaco negro”. Os miniburacos negros, que agem como se fossem partículas subatômicas, são um “laboratório” onde se pode testar algumas das previsões da teoria das cordas. Os físicos estão empolgados com a possibilidade de criá-los com o LHC. (Os miniburacos negros são tão pequenos, comparáveis em tamanho com um elétron, que não há perigo de engolirem a Terra. Raios cósmicos rotineiramente golpeiam a Terra com energias que excedem estes miniburacos negros, sem nenhum efeito danoso para o planeta.)

Por mais revolucionário que pareça, um buraco negro disfarçado de partícula subatômica é, na verdade, uma ideia antiga, apresentada pela primeira vez por Einstein, em 1935. Na visão de Einstein, deve haver uma teoria de campo unificada na qual a matéria, composta de partículas subatômicas, poderia ser vista como algum tipo de distorção no tecido do espaço-tempo. Para ele, partículas subatômicas como o elétron são na verdade “dobras” ou buracos de minhoca no espaço curvo que, de longe, parecem uma partícula. Einstein, com Nathan Rosen, brincou com a ideia de que o elétron pode, na verdade, ser um miniburaco negro disfarçado. A seu modo, ele tentou incorporar matéria a esta teoria de campo unificada, que reduziria as partículas subatômicas à geometria pura.

Os miniburacos negros foram apresentados de novo por Stephen Hawking,

que provou que eles devem evaporar e emitir um tênue brilho de energia. Ao longo de muitos éons, um buraco negro emitiria tanta energia que iria pouco a pouco encolhendo, até ficar do tamanho de uma partícula subatômica.

A teoria das cordas está agora reintroduzindo o conceito de miniburacos negros. Lembre-se de que os buracos negros formam-se quando uma grande quantidade de matéria é comprimida até o seu raio de Schwarzschild. Como massa e energia podem ser convertidas uma na outra, os buracos negros também podem ser criados comprimindo-se a energia. Existe um considerável interesse em saber se o LHC pode produzir miniburacos negros entre os fragmentos criados pela colisão de dois prótons a 14 trilhões de elétrons-volt de energia. Estes buracos negros seriam muito pequeninos, pesando talvez apenas mil vezes a massa de um elétron e durando apenas 10^{-23} segundos. Mas seriam claramente visíveis entre os rastros de partículas subatômicas criadas pelo LHC.

Os físicos também esperam que os raios cósmicos provenientes do espaço exterior possam conter miniburacos negros. O Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger, na Argentina, é tão sensível que pode detectar algumas das maiores explosões de raios cósmicos já registradas pela ciência. A esperança é de que os miniburacos negros possam ser encontrados naturalmente entre os raios cósmicos, o que criaria uma saraivada característica de radiação quando atingirem a atmosfera superior da Terra. Um cálculo mostra que o detector de Raios Cósmicos Auger talvez possa ver até dez saraivadas de raios cósmicos por ano, detonadas por um miniburaco negro.

A detecção de um miniburaco, seja no LHC na Suíça ou no detector de Raios Cósmicos Auger, na Argentina, talvez ainda nesta década, quem sabe seria a evidência de que existem universos paralelos. Embora não provasse de forma conclusiva a correção da teoria das cordas, convenceria toda a comunidade de físicos de que a teoria das cordas é coerente com todos os resultados experimentais e está no caminho certo.

BURACOS NEGROS E O PARADOXO DA INFORMAÇÃO

A teoria das cordas também pode esclarecer alguns dos paradoxos mais misteriosos da física dos buracos negros, como o paradoxo da informação. Como você deve se lembrar, os buracos negros não são perfeitamente negros, mas emitem pequenas quantidades de radiação via tunelamento. Graças à teoria quântica, existe sempre uma pequena probabilidade de que a radiação possa escapar da garra de torniquete da gravitação de um buraco negro. Isto leva a um

lento vazamento de radiação de um buraco negro, chamada de radiação de Hawking.

Esta radiação, por sua vez, tem uma temperatura associada (que é proporcional à área da superfície do horizonte de eventos do buraco negro). Hawking apresenta uma derivação geral desta equação que não era muito precisa. Entretanto, uma derivação rigorosa deste resultado exigiria a utilização de todo o poder da mecânica estatística (baseada na contagem dos estados quânticos de um buraco negro). Em geral, os cálculos da mecânica estatística são feitos contando-se o número de estados que um átomo ou molécula pode ocupar. Mas como se contam os estados quânticos de um buraco negro? Na teoria de Einstein, os buracos negros são perfeitamente suaves, e portanto contar os seus estados quânticos era problemático.

Os teóricos das cordas estavam ansiosos para fechar esta lacuna, de modo que Andrew Strominger e Cumrun Vafa, de Harvard, decidiram analisar um buraco negro usando a teoria M. Visto ser muito difícil trabalhar com um buraco negro em si, os dois adotaram outra abordagem e fizeram uma pergunta inteligente: qual é o dual de um buraco negro? (Lembramos que um elétron é o dual de um monopolo magnético, tal como um polo norte isolado. Daí, examinando um elétron num campo elétrico fraco, o que é fácil de fazer, podemos analisar um experimento muito mais difícil: um monopolo colocado num campo magnético muito grande.) A esperança era de que o dual do buraco negro fosse mais fácil de analisar do que o próprio buraco negro, embora os dois acabem apresentando o mesmo resultado final. Com uma série de manipulações matemáticas, Strominger e Vafa conseguiram mostrar que o buraco negro era dual de uma coleção de uma-brana e cinco-branas. Isto foi um alívio enorme, porque a contagem dos estados quânticos dessas branas era conhecida. Quando Strominger e Vafa, em seguida, calcularam o números de estados quânticos, descobriram que a resposta reproduzia exatamente o resultado de Hawking.

Esta foi uma boa notícia. A teoria das cordas, que às vezes é ridicularizada por não ter relação com o mundo real, dava, talvez, a solução mais elegante para a termodinâmica do buraco negro.

Agora, os teóricos das cordas estão tentando atacar o problema mais difícil na física dos buracos negros, o “paradoxo da informação”. Hawking argumentou que se você lançar alguma coisa num buraco negro, a informação que ela carrega se perde para sempre, jamais retornando. (Esta seria a maneira mais inteligente de cometer o crime perfeito. Um criminoso poderia usar um buraco negro para destruir todas as evidências incriminadoras.) De longe, os únicos parâmetros que podemos medir para um buraco negro são a sua massa, *spin* e carga. Não importa o que você jogar dentro de um buraco negro, você perde todas as

informações. (Isso é conhecido pela expressão que diz “buracos negros não têm cabelos” – isto é, eles perderam todas as informações, todos os cabelos, exceto por aqueles três parâmetros.)

A perda de informação do nosso universo parece ser uma consequência inevitável da teoria de Einstein, mas isto viola os princípios da mecânica quântica, que afirma que a informação jamais se perde realmente. Em algum lugar, a informação deve estar flutuando no nosso universo, mesmo que o objeto original tenha sido lançado goela adentro num buraco negro.

“A maioria dos físicos quer acreditar que a informação não se perde”, escreveu Hawking, “pois isto tornaria o mundo seguro e previsível. Mas eu acredito que, levando-se a sério a relatividade geral de Einstein, é preciso aceitar a possibilidade de que o espaço-tempo dá nós em si mesmo e que a informação se perde nas dobras. Determinar se a informação se perde ou não é uma das principais questões da física teórica atualmente.”[29]

Este paradoxo, que coloca Hawking em oposição à maioria dos teóricos das cordas, ainda não foi resolvido. Mas a aposta entre os teóricos das cordas é que acabaremos descobrindo para onde foi a informação perdida. (Por exemplo, se você jogar um livro dentro de um buraco negro, é concebível que a informação contida no livro irá se infiltrar delicadamente de volta para o nosso universo na forma de minúsculas vibrações contidas na radiação de Hawking de um buraco negro em evaporação. Ou talvez volte a sair de um buraco branco do outro lado do buraco negro.) É por isso que eu, pessoalmente, acho que quando alguém finalmente calcular o que acontece com a informação, quando ela desaparece dentro de um buraco negro, na teoria das cordas, essa pessoa vai descobrir que a informação não se perdeu na realidade, mas sutilmente reaparece em algum outro lugar.

Em 2004, numa reviravolta surpreendente, Hawking foi parar na primeira página do jornal *New York Times* ao anunciar, diante das câmeras de televisão, que tinha se enganado a respeito do problema da informação. (Trinta anos atrás, ele apostou com outros físicos que a informação não podia vazar de um buraco negro. Quem perdesse a aposta daria ao vencedor uma enciclopédia, de onde as informações são facilmente recuperadas.) Refazendo alguns dos cálculos anteriores, ele concluiu que se um objeto, como um livro, caísse num buraco negro, poderia perturbar o campo de radiação que ele emite, permitindo à informação vazar de volta para o universo. A informação contida no livro estaria codificada na radiação que escoa lentamente do buraco negro, mas desfigurada.

Por um lado, isto colocava Hawking em linha com a maioria dos físicos quânticos, que acreditavam que a informação não pode se perder. Mas também levantava a dúvida: a informação pode passar para um universo paralelo?

Superficialmente, seu resultado parecia lançar dúvidas quanto à ideia de que a informação pode passar por um buraco de minhoca para um universo paralelo. Entretanto, ninguém acredita que esta seja a última palavra sobre o assunto. Até a teoria das cordas estar totalmente desenvolvida, ou fizermos um cálculo gravitacional quântico completo, ninguém acreditará que o paradoxo da informação está totalmente resolvido.

O UNIVERSO HOLOGRÁFICO

Por fim, existe uma previsão bastante misteriosa da teoria M, que ainda não foi compreendida, mas pode ter profundas consequências físicas e filosóficas. Este resultado nos obriga a perguntar: o universo é um holograma? Existe um "universo sombra" no qual nossos corpos existam numa forma comprimida bidimensional? Isto também levanta outra questão igualmente perturbadora: o universo é um programa de computador? O universo pode ser colocado num CD, para se tocar a nosso bel-prazer?

Os hologramas são agora encontrados em cartões de crédito, museus infantis e parques de diversões. São notáveis porque podem capturar uma imagem tridimensional completa numa superfície bidimensional. Normalmente, se você olhar de relance para uma fotografia e em seguida mover a sua cabeça, a imagem na fotografia não muda. Mas um holograma é diferente. Quando você olha uma figura holográfica e em seguida move a cabeça, verá a figura mudando, como se você estivesse olhando a imagem através de uma janela ou de um buraco de fechadura. (Os hologramas podem acabar gerando a televisão e filmes em três dimensões. No futuro, talvez relaxemos na nossa sala de estar, vendo uma tela na parede que nos dá a imagem tridimensional completa de lugares distantes, como se a tela de TV na parede fosse, na verdade, uma janela espiando para uma nova paisagem. Além do mais, se a tela na parede tiver a forma de um cilindro com a nossa sala de estar no centro, dará a impressão de que estamos sendo transportados para um novo mundo. Para onde quer que olhássemos, veríamos a imagem em três dimensões de uma nova realidade, indistinguível daquela que é real.)

A essência do holograma é que a superfície bidimensional do holograma codifica todas as informações necessárias para reproduzir uma imagem tridimensional. (Os hologramas são feitos em laboratório pela irradiação de luz a laser sobre uma placa fotográfica sensível e deixando a luz interferir com a luz a laser da fonte original. A interferência das duas fontes de luz cria um padrão de

interferência que “congela” a imagem na placa bidimensional.)

Alguns cosmólogos conjecturaram que isto talvez possa se aplicar também ao próprio universo – que talvez *vivamos* num holograma. A origem desta estranha especulação está na física dos buracos negros. Bekenstein e Hawking conjecturam que a quantidade total de informações contida num buraco negro é proporcional à área da superfície do seu horizonte de eventos (que é uma esfera). Este é um resultado estranho, porque, em geral, a informação armazenada num objeto é proporcional ao seu volume. Por exemplo, a quantidade de informações armazenadas num livro é proporcional ao seu tamanho, não à área de superfície da sua capa. Sabemos isto por instinto, quando dizemos que é impossível julgar um livro pela sua capa. Mas tal intuição falha no caso dos buracos negros: é possível julgar totalmente um buraco negro pela sua capa.

Podemos descartar esta curiosa ideia porque os buracos negros são estranhas singularidades por si mesmos, onde a intuição normal deixa de ser válida. Entretanto, este resultado também se aplica à teoria M, que pode nos dar a melhor descrição do universo inteiro. Em 1997, Juan Maldacena, do Instituto de Estudos Avançados, em Princeton, causou sensação ao mostrar que a teoria das cordas leva a um novo tipo de universo holográfico.

Ele começou com um “universo de anti-De Sitter” com cinco dimensões que costuma aparecer na teoria das cordas e na teoria da supergravidade. Um universo de De Sitter é o que tem uma constante cosmológica positiva que cria um universo em aceleração. (Lembramos que o nosso universo atualmente está mais bem representado como o universo de De Sitter, com uma constante cosmológica afastando as galáxias em velocidades cada vez maiores. Um universo de anti-De Sitter tem uma constante cosmológica negativa e, portanto, pode implodir.) Maldacena mostrou que existe uma dualidade entre este universo pentadimensional e a sua “fronteira”, que é um universo de quatro dimensões.[30] Curiosamente, qualquer ser que viva neste espaço de cinco dimensões seria matematicamente equivalente aos seres que vivem neste espaço quadridimensional. Não há como distinguir um do outro.

Numa analogia grosseira, imagine peixes nadando em um aquário pequeno. Estes peixes pensam que o aquário deles corresponde à realidade. Agora pense numa imagem holográfica bidimensional destes peixes que está projetada na superfície do aquário. Esta imagem contém uma réplica exata dos peixes originais, só que estão achatados. Qualquer movimento que os peixes fizerem no aquário é espelhado pela imagem plana na superfície do aquário. Ambos os peixes que nadam no aquário e os peixes achatados que vivem na sua superfície acham que são os peixes verdadeiros, que o outro é uma ilusão. Ambos os peixes estão vivos e agem como se fossem os peixes reais. Que descrição é a correta?

Na verdade, ambas, visto serem matematicamente equivalentes e indistinguíveis.

O que empolgou os teóricos das cordas é o fato de o espaço de anti-De Sitter pentadimensional ser passível de cálculos relativamente fáceis, enquanto as teorias de campo quadridimensional são notoriamente difíceis de se lidar. (Até hoje, depois de décadas de trabalho árduo, nossos computadores mais potentes não são capazes de solucionar o modelo a quarks de quatro dimensões e derivar as massas do próton e do nêutron. As equações para os quarks em si são mais ou menos bem compreendidas, mas solucioná-las em quatro dimensões para obter as propriedades de prótons e nêutrons mostrou-se ser mais difícil do que se pensava.) Um objetivo é calcular as massas e propriedades do próton e do nêutron, usando esta estranha dualidade.

Esta dualidade holográfica pode também ter aplicações práticas, como a de solucionar o problema da informação na física do buraco negro. Em quatro dimensões, é dificílimo provar que a informação não se perde quando jogamos um objeto por um buraco negro. Mas um espaço assim é dual de um mundo de cinco dimensões, no qual a informação talvez nunca se perca. A esperança é que problemas que são insolúveis em quatro dimensões (como o da informação, o cálculo das massas do modelo a quarks, e daí por diante) possam acabar sendo solucionados em cinco dimensões, onde a matemática é mais simples. E é sempre possível que esta analogia seja, na verdade, um reflexo do mundo real – que nós realmente existimos como hologramas.

O UNIVERSO É UM PROGRAMA DE COMPUTADOR?

John Wheeler, como vimos antes, acreditava que toda a realidade física pode ser reduzida à informação pura. Bekenstein leva a ideia da informação de um buraco negro um passo adiante em mares nunca navegados ao perguntar: o universo inteiro é um programa de computador? Não passamos de bits num CD cósmico?

A questão de estar ou não vivendo num programa de computador foi levada com brilhantismo às telas de cinema no filme *Matrix*, onde alienígenas reduziram toda a realidade física a um programa de computador. Bilhões de pessoas pensam que estão vivendo o cotidiano, inconscientes do fato de que tudo isso é uma fantasia gerada por computador, enquanto os seus corpos reais estão adormecidos em casulos, onde os alienígenas os usam como fonte de energia.

No filme, é possível rodar programas de computador menores, capazes de criar minirrealidades artificiais. Se alguém quiser se tornar um mestre Kung Fu ou piloto de helicóptero, basta inserir um CD num computador, o programa é

instalado no seu cérebro e, pronto!; no mesmo instante, a pessoa aprende estas habilidades complicadas. À medida que o CD é executado, toda uma nova realidade é criada. Mas isso levanta uma questão intrigante: é possível colocar a realidade toda num CD? A potência do computador necessário para simular a realidade para bilhões de pessoas adormecidas está, na verdade, engatinhando. Mas, teoricamente: o universo inteiro pode ser digitalizado num programa de computador finito?

As raízes desta questão datam das leis do movimento de Newton, com aplicações muito práticas para o comércio e para a nossa vida. Mark Twain ficou famoso por dizer: "Todo mundo se queixa do clima, mas ninguém faz nada a respeito." A civilização moderna não pode mudar o curso até de uma única tempestade, mas os físicos fizeram uma pergunta mais modesta: podemos prever o clima? Pode-se criar um programa de computador para prever o curso de padrões climáticos complexos sobre a Terra? Isto tem aplicações bem práticas para todos que se preocupam com o tempo: de fazendeiros que querem saber quando colher o que plantaram a meteorologistas que desejam saber a taxa de aquecimento global neste século.

Em princípio, os computadores podem usar as leis do movimento de Newton para computar com precisão quase arbitrária o curso de moléculas que compõem o clima. Mas, na prática, os computadores são extremamente toscos e pouco confiáveis para prever o tempo com uma antecedência de alguns dias ou mais, na melhor das hipóteses. Para prever o tempo, seria necessário determinar o movimento de cada molécula de ar – algo que está muito além do alcance de nossos computadores mais potentes; há também o problema da teoria do caos e o "efeito borboleta", em que até uma minúscula vibração da asa de uma borboleta pode causar um efeito ondulatório que, em condições excepcionais, é capaz de mudar decisivamente o tempo a centenas de quilômetros de distância.

Os matemáticos resumem esta situação afirmando que o menor modelo capaz de descrever com precisão o tempo é o próprio tempo. Em vez de microanalisar cada molécula, o melhor que podemos fazer é procurar a previsão para o tempo de amanhã e também as tendências e padrões mais amplos (como o efeito estufa).

Portanto, é dificílimo um mundo newtoniano se reduzir a um programa de computador, visto serem muitas as variáveis e as "borboletas". Mas, no mundo quântico, estranhas coisas acontecem.

Bekenstein, como vimos, mostrou que o conteúdo total de informação de um buraco negro é proporcional à área da superfície do seu horizonte de eventos. Existe um jeito intuitivo de entender isto. Muitos físicos acreditam que a menor distância possível é o comprimento de Planck, de 10^{-33} cm. A esta distância

incrivelmente pequena, o espaço-tempo deixa de ser suave e se torna “espumoso”, parecendo borbulhas. Podemos dividir a superfície esférica do horizonte em quadradinhos, cada um do tamanho do comprimento de Planck. Se cada um destes quadrados contiver um bit de informação, e se somarmos todos os quadrados, vamos encontrar mais ou menos a informação total contida no buraco negro. Isto parece indicar que cada um destes “quadrados de Planck” é a menor unidade de informação. Se for verdade, então Bekenstein afirma que talvez a informação seja a verdadeira linguagem da física, não a teoria de campo. Como ele diz: “A teoria de campo, com seus infinitos, não pode ser a história final.”[31]

Desde o trabalho de Michael Faraday, no século XIX, a física tem sido formulada na linguagem dos campos, que são suaves e contínuos, e que medem a intensidade do magnetismo, da eletricidade, da gravitação *etc.* em qualquer ponto do espaço-tempo. Mas a teoria de campo baseia-se em estruturas contínuas, não nas digitalizadas. Um campo pode tomar qualquer valor, enquanto um número digitalizado pode apenas representar números discretos baseados em 0s e 1s. Esta é a diferença, por exemplo, entre uma folha de borracha lisa encontrada na teoria de Einstein e uma tela de arame fino. A folha de borracha pode ser dividida em um número infinito de pontos, enquanto a tela de arame tem uma distância mínima, o comprimento da tela.

Bekenstein sugere que “uma teoria final deve se preocupar não com campos, nem mesmo com espaço-tempo, mas com a troca de informações entre os processos físicos”.[32]

Se o universo pode ser digitalizado e reduzido a 0s e 1s, então qual é o conteúdo total de informação do universo? Bekenstein estima que um buraco negro com mais ou menos um centímetro de diâmetro poderia conter 10^{66} bits de informação. Mas, se um objeto medindo um centímetro pode conter tantos bits de informação, então ele avalia que o universo visível provavelmente contém muito mais informação, não menos do que 10^{100} bits (que, em princípio, podem ser espremidos numa esfera com um décimo de ano-luz de diâmetro. Este número colossal, 1 seguido de 100 zeros, é chamado de um *googol*).

Se este quadro estiver correto, temos uma estranha situação. Pode significar que, embora um mundo newtoniano não possa ser simulado por computador (ou pode apenas ser simulado por um sistema tão grande quanto ele mesmo), num mundo quântico, talvez o universo *possa* ser colocado num CD! Em teoria, se podemos colocar 10^{100} bits de informação num CD, podemos observar qualquer evento no nosso universo desenrolando-se na nossa sala de estar. Em princípio, podemos organizar ou reprogramar os bits neste CD de modo que a realidade

física proceda de um modo diferente. Em certo sentido, uma pessoa teria a capacidade divina para reescrever o roteiro.

(Bekenstein também admite que o conteúdo total de informação do universo pode ser muito maior do que isso. Na verdade, o menor volume capaz de conter a informação do universo deve ser o próprio tamanho do universo. Se isto é verdade, então voltamos ao ponto de partida: o menor sistema capaz de modelar o universo é o próprio universo.)

A teoria das cordas, entretanto, dá uma interpretação ligeiramente diferente para a "menor distância" e para a dúvida se podemos ou não digitalizar o universo num CD. A teoria M possui o que se chama de dualidade T. Lembre-se de que o filósofo grego Zenão pensava que uma linha podia ser dividida num número infinito de pontos, sem limites. Hoje, físicos quânticos como Bekenstein acreditam que a menor distância possa ser a distância de Planck de 10^{-33} centímetros, em que o tecido do espaço-tempo se torna espumoso e borbulhante. Mas a teoria M nos dá uma nova ideia. Digamos que nós pegamos uma teoria de cordas e a embrulhamos uma dimensão fazendo um círculo de raio R. Em seguida, pegamos outra corda e a embrulhamos numa dimensão fazendo um círculo de raio 1/R. Comparando estas duas teorias bastante diferentes, descobrimos que são exatamente as mesmas.

Agora deixemos que *R* se torne extremamente pequeno, muito menor do que o comprimento de Planck. Isto significa que a física dentro do comprimento de Planck é idêntica à física fora do comprimento de Planck. No comprimento de Planck, o espaço-tempo pode se tornar encaroçado e espumoso, mas a física dentro do comprimento de Planck e a física a distâncias muito grandes podem ser suaves e, de fato, são idênticas.

Esta dualidade foi encontrada pela primeira vez pelo meu ex-colega Keiji Kikkawa e seu aluno Masami Yamasaki, da Universidade de Osaka. Embora a teoria das cordas pareça concluir que existe uma "menor distância", o comprimento de Planck, a física não termina abruptamente nele. A nova abordagem é que a física menor do que o comprimento de Planck é equivalente à física maior do que o comprimento de Planck.

Se esta interpretação estiver correta, então quer dizer que, até dentro da "menor distância" da teoria das cordas, um universo inteiro pode existir. Em outras palavras, ainda podemos usar a teoria de campos, com suas estruturas contínuas (não digitalizadas), para descrever o universo mesmo em distâncias bem inferiores à energia de Planck. Então, talvez o universo não seja um programa de computador. De qualquer forma, visto ser este um problema bem definido, o tempo nos dará uma resposta.

(Esta dualidade T é a justificativa para o cenário "pré-Big Bang" de Veneziano

sobre a qual já falei antes. Nesse modelo, um buraco negro colapsa no comprimento de Planck e depois “irrompe” de volta para o Big Bang. Este ricochete não é um evento abrupto, mas a dualidade T suave entre um buraco negro menor do que o comprimento de Planck e um universo em expansão maior do que o comprimento de Planck.)

O FIM?

Se a teoria M tiver êxito, se for mesmo a teoria de tudo, será o fim da física que conhecemos?

A resposta é: não. Vou dar um exemplo. Conhecer as regras do jogo de xadrez não nos torna grandes mestres. Similarmente, conhecer as leis do universo não significa que somos grandes mestres em termos da compreensão da sua rica variedade de soluções. Pessoalmente, penso que ainda é um pouco prematuro aplicar a teoria M à cosmologia, embora ela dê um novo e surpreendente quadro de como o universo poderia ter começado. O principal problema, acredito, é que o modelo não está na sua forma final. A teoria M pode muito bem ser a teoria de tudo, mas acredito que esteja longe de estar acabada. A teoria vem evoluindo no sentido inverso desde 1968, e suas equações finais ainda não foram encontradas. (Por exemplo, a teoria das cordas pode ser formulada através da teoria de campo das cordas, como Kikkava e eu mostramos anos atrás. A contraparte destas equações para a teoria M ainda é desconhecida.)

Vários problemas desafiam a teoria M. Um é que os físicos estão agora nadando em *p*-branas. Diversos artigos foram escritos tentando catalogar a confusa variedade de membranas que existem em diferentes dimensões. Existem membranas com a forma de rosquinha com um buraco no centro, uma rosquinha com múltiplos buracos, membranas que se interseccionam e assim por diante.

Isso nos faz lembrar do que acontece na lenda em que os sábios cegos encontram um elefante. Tocando no animal em diferentes lugares, cada um apresenta a sua própria teoria. Um sábio, tocando na cauda, diz que o elefante é uma uma-brana (uma corda). Outro, tocando na orelha, diz que o elefante é uma duas-brana (uma membrana). Finalmente, o último diz que os outros dois sábios estão errados. Tocando nas pernas, que parecem troncos de árvore (em inglês *tree),* o terceiro sábio diz que o elefante é na verdade uma três-brana. Como são cegos, eles não podem ver o quadro geral, que a soma total de uma uma-brana, duas-brana e três-brana nada mais é do que um único animal, um elefante.

Do mesmo modo, é difícil acreditar que as centenas de membranas

encontradas na teoria M sejam de alguma forma fundamentais. No presente, não temos compreensão total da teoria M. O meu ponto de vista, que orienta a minha pesquisa, é que estas membranas e cordas representam a “condensação” do espaço. Einstein tentou descrever a matéria em termos puramente geométricos, como uma espécie de dobra no tecido do espaço-tempo. Se tivermos um lençol, por exemplo, e surgir uma prega, a prega age como se tivesse vida própria. Einstein tentou modelar o elétron e outras partículas elementares como um tipo de perturbação na geometria do espaço-tempo. Embora no final ele tivesse fracassado, esta ideia pode ser ressuscitada num nível muito mais elevado na teoria M.

Acredito que Einstein estivesse no caminho certo. A sua ideia era gerar a física subatômica por meio da geometria. Em vez de tentar descobrir um análogo geométrico para as partículas pontuais, que foi a estratégia de Einstein, poderíamos revisá-la e tentar construir um análogo geométrico de cordas e membranas feitas de puro espaço-tempo.

Um modo de ver a lógica desta abordagem é olhar a física do ponto de vista histórico. No passado, sempre que os físicos eram confrontados com um espectro de objetos, percebíamos que havia algo mais fundamental na raiz. Por exemplo, quando descobrimos as linhas espectrais emitidas pelo gás hidrogênio, acabamos percebendo que elas se originavam do átomo, dos saltos quânticos feitos pelo elétron ao circular o núcleo. Similarmente, quando confrontados com a proliferação de partículas fortes na década de 1950, os físicos acabaram percebendo que elas nada mais eram do que estados ligados de quarks. E, quando confrontados com a proliferação de quarks e outras partículas “elementares” do Modelo Padrão, a maioria dos físicos agora acredita que eles surgem das vibrações da corda.

Com a teoria M, nós nos confrontamos com a proliferação de *p*-branas de todos os tipos e variedades. É difícil acreditar que elas possam ser fundamentais, porque simplesmente são *p*-branas demais e porque elas são inerentemente instáveis e divergentes. Uma solução mais simples, que concorda com a abordagem histórica, é supor que a teoria M se origina de um paradigma ainda mais simples, talvez a própria geometria.

Para resolver esta questão fundamental, precisamos conhecer o princípio físico subjacente à teoria, não apenas a sua matemática enigmática. Como diz o físico Brian Greene: “Atualmente, os teóricos das cordas estão numa situação análoga à de um Einstein privado do princípio da equivalência. Desde a perspicaz suposição de Veneziano, em 1968, a teoria tem sido montada, descoberta por descoberta, revolução por revolução. Mas está faltando ainda um princípio organizador central que abarque estas descobertas e todas as outras

características da teoria em uma estrutura abrangente e sistemática – uma estrutura que torne a existência de cada ingrediente individual absolutamente inevitável. A descoberta deste princípio marcaria um momento inicial no desenvolvimento da teoria das cordas, pois provavelmente exporia o funcionamento interno com uma clareza antes imprevisível."[33]

Também daria sentido aos milhões de soluções até agora encontradas para a teoria das cordas; cada uma representa um universo plenamente lógico. No passado, pensava-se que, desta floresta de soluções, apenas uma era a verdadeira solução para a teoria das cordas. Hoje, a nossa maneira de pensar está mudando. Até agora, não há como escolher um universo entre os milhões que já foram descobertos. Existe uma corrente crescente que afirma que se não podemos encontrar a única solução para a teoria das cordas, provavelmente é porque ela não existe. Todas as soluções são iguais. Existe um multiverso de universos, cada um coerente com todas as leis da física. Isto então nos leva ao que se chama de princípio antrópico e à possibilidade de um "universo de projetista".

CAPÍTULO OITO

Um universo de um Projetista?

> Numerosos universos podem ter sido malfeitos e remendados por toda uma eternidade antes que este sistema tivesse início; muito esforço perdido, muitas tentativas infrutíferas e um lento, mas contínuo, progresso colocado em prática durante eras infinitas na arte da construção de mundo.
>
> – David Hume

Quando eu era criança, no segundo ano da escola, minha professora fez uma observação casual que jamais esquecerei. Ela disse: “Deus gostou tanto da Terra que a colocou bem na frente do Sol.” Como menino de seis anos, fiquei chocado com a simplicidade e o vigor deste argumento. Se Deus tivesse colocado a Terra muito longe do Sol, então os oceanos teriam congelado. Se Ele tivesse colocado perto demais, então os oceanos teriam evaporado na fervura. Para ela, isto significava que não somente Deus existe, como Ele foi também benevolente, amando tanto a Terra que a colocou bem na frente do Sol. Isto me causou um impacto enorme.

Hoje, os cientistas dizem que a Terra vive na “zona de Goldilocks” do Sol, longe o suficiente para que a água em estado líquido, o “solvente universal”, possa existir e criar a química da vida. Se a Terra estivesse mais distante do Sol, poderia se tornar como Marte, um “deserto congelado”, onde as temperaturas criaram uma superfície árida e estéril, onde a água e até o dióxido de carbono estão com frequência congelados. Mesmo sob o solo de Marte encontra-se o *permafrost*, uma camada de água permanentemente congelada.

Se a Terra estivesse mais próxima do Sol, então ela talvez fosse mais parecida com o planeta Vênus, que é quase do mesmo tamanho, mas é conhecido como o “planeta estufa”. Como Vênus está tão perto do Sol, a sua atmosfera é feita de dióxido de carbono, a energia da luz solar é capturada por Vênus, elevando as temperaturas a 482°C. Por causa disso, Vênus é o planeta mais quente, em média, do sistema solar. Com chuvas de ácido sulfúrico, pressões atmosféricas cem vezes mais altas do que as encontradas na Terra e temperaturas escaldantes, Vênus é talvez o planeta mais infernal do sistema solar, em grande parte por que fica mais perto do Sol do que a Terra.

Analisando o argumento da minha professora do segundo ano, os cientistas diriam que o que ela disse é um exemplo do princípio antrópico, que afirma que

as leis da natureza são combinadas de modo que a vida e a consciência sejam possíveis. Se estas leis foram arrumadas por algum desígnio superior ou por acaso, tem sido o tema de muitos debates, especialmente nos últimos anos, devido ao impressionante número de "acidentes" ou coincidências encontradas que tornam possível a vida e a consciência. Para alguns, isto é prova de uma divindade que intencionalmente combinou as leis da natureza para tornar possível a vida e nós. Mas, para outros cientistas, isto quer dizer que somos os subprodutos de uma série de felizes acidentes. Ou, quem sabe, acreditando-se nas ramificações da inflação e da teoria M, existe um multiverso de universos.

Para avaliar a complexidade destes argumentos, considere primeiro as coincidências que tornam a vida na Terra possível. Vivemos não apenas dentro da zona de Goldilocks do Sol, vivemos também em uma série de outras zonas de Goldilocks. Por exemplo, a nossa Lua é exatamente do tamanho certo para estabilizar a órbita da Terra. Se a Lua fosse muito menor, até as mínimas perturbações na rotação da Terra lentamente se acumulariam ao longo de centenas de milhões de anos, fazendo a Terra oscilar desastrosamente e criando mudanças drásticas no clima, de modo a tornar a vida impossível. Programas de computador mostram que, sem uma lua grande (cerca de um terço do tamanho da Terra), o eixo da Terra poderia ter mudado até 90 graus num período de alguns milhões de anos. Visto que os cientistas acreditam que, para a criação do DNA, foram necessárias centenas de milhões de anos de estabilidade climática, uma Terra que periodicamente se inclina sob seu eixo criaria mudanças catastróficas no clima, tornando impossível a criação do DNA. Por sorte, a nossa Lua tem o tamanho "exato" para estabilizar a órbita da Terra, de modo que tal desastre jamais acontecerá. (As luas de Marte não são grandes o bastante para estabilizar a sua rotação. O resultado é que Marte está lentamente começando a entrar em outra era de instabilidade. No passado, acreditam os astrônomos, Marte pode ter oscilado no seu eixo por até 45 graus.)

Devido às pequenas forças de maré, a Lua também está se afastando da Terra a uma velocidade de 4 centímetros por ano; em mais ou menos 2 bilhões de anos, ela estará longe demais para estabilizar a rotação da Terra. Isto pode ser desastroso para a vida na Terra. Daqui a bilhões de anos, não apenas o céu noturno não terá uma lua como talvez vejamos um conjunto totalmente diferente de constelações à medida que a Terra der uma cambalhota na sua órbita. O clima na Terra será irreconhecível, tornando a vida impossível.

O geólogo Peter Ward e o astrônomo Donald Brownlee, da Universidade de Washington, escrevem: "Sem a Lua não haveria raios de luar, meses lunáticos, programas Apollo, tanta poesia, e o mundo seria de noites escuras e tristes. Sem a Lua, também é provável que não houvesse pássaros, sequoias, baleias,

trilobitas, ou qualquer outra espécie de vida avançada jamais embelezaria a terra.”[1]

Da mesma forma, os modelos computadorizados do nosso sistema solar mostram que a presença do planeta Júpiter no nosso sistema é uma felicidade para a vida na Terra, porque a sua imensa gravidade ajuda a mandar os asteroides para o espaço cósmico. Levou quase um bilhão de anos, durante a “era dos meteoros”, que se estendeu de 3,5 bilhões a 4,5 bilhões de anos atrás, para “limpar” o nosso sistema solar dos fragmentos de asteroides e cometas que sobraram da sua criação. Se Júpiter fosse bem menor e sua gravidade muito mais fraca, então o nosso sistema solar ainda estaria cheio de asteroides, tornando a vida na Terra impossível, à medida que os asteroides mergulhassem em nossos mares e destruíssem a vida. Portanto, Júpiter também tem o tamanho certo.

Nós também vivemos na zona de Goldilocks das massas planetárias. Se a Terra fosse um pouquinho menor, sua gravidade seria tão fraca que não poderia manter o oxigênio. Se fosse muito grande, reteria muitos dos seus gases venenosos e primordiais, tornando a vida impossível. A Terra tem o peso “exato” para manter uma composição atmosférica benéfica à vida.

Vivemos também na zona de Goldilocks de órbitas planetárias permissíveis. Notavelmente, as órbitas dos outros planetas, exceto a de Plutão, são todas quase circulares, o que significa que os impactos planetários são bastante raros no sistema solar. Isto quer dizer que a Terra não chegará perto de nenhum gigante gasoso, cuja gravidade pudesse facilmente interromper a órbita da Terra. Isto mais uma vez é bom para a vida, que requer centenas de milhões de anos de estabilidade.

Do mesmo modo, a Terra também existe dentro da zona de Goldilocks da Via Láctea, a cerca de dois terços do centro. Se o sistema solar estivesse muito perto do centro galáctico, onde está à espreita um buraco negro, o campo de radiação seria tão intenso que a vida seria impossível. E, se o sistema solar estivesse afastado demais, não haveria elementos pesados suficientes para criar os elementos necessários à vida.

Os cientistas podem dar inúmeros exemplos em que a Terra está dentro de uma miríade de zonas de Goldilocks. Os astrônomos Ward e Brownlee argumentam que vivemos dentro de tantas bandas estreitas ou de Goldilocks que talvez a vida inteligente na Terra seja mesmo única na galáxia, talvez até no universo. Eles recitam uma lista extraordinária de modos como a Terra tem “exatamente” a quantidade de oceanos, placas tectônicas, conteúdo de oxigênio, conteúdo de calor, inclinação do seu eixo e outras coisas mais para criar vida inteligente. Se a Terra estivesse fora de apenas uma destas bandas muito estreitas, não estaríamos aqui para discutir a questão.

A Terra foi colocada no meio de todas estas zonas de Goldilocks porque Deus a amava? Talvez. Podemos, entretanto, chegar a uma conclusão que não depende de uma divindade. Talvez existam milhões de planetas mortos no espaço que *estão* perto demais de seus sóis, cujas luas são muito pequenas, cujos Júpiteres são pequenos demais ou que estão muito próximos do seu centro galáctico. A existência de zonas de Goldilocks no que diz respeito à Terra não significa necessariamente que Deus nos deu uma bênção especial; pode ser simplesmente uma coincidência, um exemplo raro entre milhões de planetas mortos no espaço que estão fora de zonas de Goldilocks.

O filósofo grego Demócrito, que levantou a hipótese da existência de átomos, escreveu: “Existem mundos infinitos em número e diferentes em tamanho. Em alguns, não há sol nem lua. Em outros, há mais de um sol e uma lua. As distâncias entre os mundos são desiguais, em algumas direções há um número maior... A sua destruição acontece pela colisão com um outro. Alguns mundos são destituídos de vida animal ou vegetal e de toda umidade.”[2]

Em 2002, de fato, os astrônomos descobriram uma centena de planetas extrassolares que estão orbitando outras estrelas. Descobrem um planeta extrassolar a cada duas semanas, mais ou menos. Visto que os planetas extrassolares não emitem nenhuma luz própria, os astrônomos os identificam por vários meios indiretos. O mais confiável é procurar a oscilação da estrela mãe, que se move para frente e para trás à medida que o seu planeta do tamanho de um Júpiter a circula. Analisando o desvio Doppler da luz emitida pela estrela oscilante, pode-se calcular a velocidade com que ela se move e usar as leis de Newton para calcular a massa do seu planeta.

“Você pode pensar na estrela e o planeta grande como parceiros de dança, rodopiando agarrados pelas mãos e os braços estendidos. O parceiro menor do lado de fora move-se em distâncias maiores num círculo maior, enquanto o parceiro interior maior move apenas os pés num círculo muito pequeno – o movimento em torno do círculo interno muito pequeno é o ‘oscilar’ que vemos nestas estrelas”,[3] diz Chris McCarthy, do Carnegie Institution. Este processo é agora tão preciso que podemos detectar minúsculas variações na velocidade, de 3 metros por segundo (a velocidade de uma caminhada rápida), numa estrela distante centenas de anos-luz.

Outros métodos, mais engenhosos, estão sendo propostos para encontrar ainda mais planetas. Um é procurar o planeta quando ele eclipsa a estrela mãe, o que leva a uma ligeira diminuição do seu brilho, à medida que passa em frente da estrela. E, em quinze ou vinte anos, a NASA lançará em órbita o seu satélite espacial de interferometria, que será capaz de encontrar planetas menores,

parecidos com a Terra, no espaço cósmico. (Visto que o brilho da estrela mãe supera o do planeta, este satélite usará a interferência da luz para anular o intenso halo da estrela mãe, deixando desobstruído o planeta parecido com a Terra.)

Até agora, nenhum dos planetas extrassolares do tamanho de Júpiter que descobrimos se parece com a nossa Terra, e todos estão provavelmente mortos. Os astrônomos os descobriram em órbitas altamente excêntricas ou em órbitas extremamente próximas de sua estrela mãe; em qualquer um dos casos, um planeta parecido com a Terra dentro de uma zona de Goldilocks será impossível. Nestes sistemas solares, o planeta do tamanho de Júpiter cruzaria a zona de Goldilocks e lançaria qualquer planeta do tamanho da Terra no espaço cósmico, impedindo que a vida que conhecemos se forme.

As órbitas altamente excêntricas são comuns no espaço – tão comuns, de fato, que quando se descobriu um sistema solar "normal" no espaço ele foi parar nas manchetes dos jornais em 2003. Os astrônomos dos Estados Unidos e da Austrália anunciaram igualmente a descoberta de um planeta do tamanho de Júpiter orbitando a estrela HD 70642. O que era tão incomum neste planeta (cerca de duas vezes o tamanho do nosso Júpiter) era que ele estava numa órbita circular mais ou menos na mesma relação que Júpiter está com respeito ao nosso sol.[4]

No futuro, entretanto, os astrônomos talvez consigam catalogar todas as estrelas próximas para sistemas solares em potencial. "Estamos trabalhando para fazer um levantamento de todas as 2 mil estrelas mais próximas semelhantes ao sol, todas as estrelas semelhantes ao sol até 150 anos-luz",[5] diz Paul Butler, do Carnegie Institution de Washington, que participou da primeira descoberta de um planeta extrassolar em 1995. "Nosso objetivo é duplo – fazer um reconhecimento – um primeiro censo – de nossos vizinhos mais próximos no espaço e proporcionar os primeiros dados para tratar da questão fundamental, até que ponto o nosso sistema solar é comum ou raro", diz ele.

ACIDENTES CÓSMICOS

A fim de criar vida, nosso planeta deve ter sido relativamente estável durante centenas de milhões de anos. Mas um mundo que é estável durante centenas de milhões de anos é extraordinariamente difícil de fazer.

Comece com o modo como são feitos os átomos, com o fato de que um próton pesa ligeiramente menos do que um nêutron. Isto significa que nêutrons acabam

decaindo em prótons, que ocupam um estado de energia mais baixo. Se o próton fosse apenas 1 por cento mais pesado, ele decairia num nêutron, e todos os núcleos se tornariam instáveis e se desintegrariam. Os átomos explodiriam, tornando a vida impossível.

Outro acidente cósmico que torna a vida possível é que o próton é estável e não decai num antielétron. Experimentos mostraram que o tempo de vida de um próton é realmente astronômico, muito mais longo do que o tempo de vida do universo. Para criar DNA estável, os prótons precisam ser estáveis por, no mínimo, centenas de milhões de anos.

Se a força nuclear forte fosse um pouquinho mais fraca, núcleos como o deutério explodiriam, e nenhum dos elementos do universo poderiam ter sucessivamente se acumulado no interior de estrelas por meio da nucleossíntese. Se a força nuclear fosse um pouquinho mais forte, estrelas queimariam o seu combustível nuclear rápido demais, e a vida não evoluiria.

Se variarmos a intensidade da força fraca, também encontraremos que a vida mais uma vez é impossível. Neutrinos, que agem via força nuclear fraca, são cruciais para transportar a energia para fora de uma supernova que explode. Esta energia, por sua vez, é responsável pela criação dos elementos mais pesados além do ferro. Se a força fraca fosse um pouquinho mais fraca, os neutrinos quase não interagiriam, o que significa que as supernovas não poderiam criar os elementos além do ferro. Se a força fraca fosse um pouquinho mais forte, os neutrinos poderiam não escapar adequadamente do núcleo de uma estrela, mais uma vez impedindo a criação dos elementos mais pesados que compõem o nosso corpo e o nosso mundo.

Os cientistas montaram longas listas com inúmeros desses “felizes acidentes cósmicos”. Diante desta lista imponente, é chocante descobrir quantas das constantes familiares do universo estão dentro de uma banda muito estreita, que torna a vida possível. Se um apenas destes acidentes fosse alterado, as estrelas jamais se formariam, o universo se desintegraria, o DNA não existiria, a vida seria impossível, a Terra viraria de cabeça para baixo ou congelaria e assim por diante.

O astrônomo Hugh Ross, para enfatizar como esta situação é extraordinária, comparou-a a um avião Boeing 747 sendo totalmente montado em consequência de um tornado que atingisse um depósito de ferro-velho.

O PRINCÍPIO ANTRÓPICO

De novo, todos os argumentos apresentados aqui são agrupados globalmente sob o princípio antrópico. Existem vários pontos de vista que podemos adotar com relação a este controvertido princípio. A minha professora do segundo ano achava que estas felizes coincidências implicavam a existência de um grande desígnio ou plano. Como disse o físico Freeman Dyson certa vez: “É como se o universo soubesse que estávamos chegando.” Este é um exemplo do princípio antrópico forte, a ideia de que a sintonia fina das constantes físicas não foi um acidente, mas sugere uma espécie de desígnio. (O princípio antrópico fraco simplesmente diz que as constantes físicas do universo são tais que tornam possíveis a vida e a consciência.)

O físico Don Page resumiu as várias formas do princípio antrópico que foram propostas ao longo dos anos:[6]

> princípio antrópico fraco: “O que observamos sobre o universo está limitado pela exigência da nossa existência como observadores.”
> princípio antrópico forte-fraco: “Em apenas um mundo... do universo de muitos mundos, a vida deve se desenvolver.”
> princípio antrópico forte: “O universo precisa ter as propriedades para a vida se desenvolver em algum momento dentro dele.”
> princípio antrópico final: “A inteligência deve se desenvolver dentro do universo e depois jamais se extinguir.”

Uma física que leva a sério o princípio antrópico forte, e afirma que ele é um sinal de Deus, é Vera Kistiakowsky, do MIT. “A primorosa ordem exibida por nossa compreensão científica do mundo físico requer o divino.”[7] Um cientista que segue esta opinião é John Polkinhorne, um físico de partículas que desistiu do seu cargo na Universidade de Cambridge e se ordenou padre da Igreja anglicana. Ele escreve que o universo “não é apenas ‘um mundo velho qualquer’, mas é especial e perfeitamente sintonizado para a vida porque é a criação de um Criador que deseja que assim seja”.[8] Na verdade, o próprio Isaac Newton, que introduziu o conceito de leis imutáveis guiando os planetas e estrelas sem intervenção divina, acreditava que a elegância dessas leis apontava para a existência de Deus.

Mas o físico premiado com um Nobel, Steven Weinberg, não está convencido disso. Ele reconhece a atração do princípio antrópico: “É quase irresistível para os homens acreditar que temos alguma relação especial com o universo, que a vida humana não é apenas um resultado mais ou menos cômico de uma cadeia de acidentes que data dos três primeiros minutos, mas onde fomos de algum modo inseridos desde o início.” Entretanto, ele conclui que o princípio antrópico

forte é “pouco mais do que um linguajar místico”.[9]

Outros também estão menos convencidos do poder do princípio antrópico. O falecido físico Heinz Pagels chegou a se impressionar com o princípio antrópico para, no final, se desinteressar porque ele não tinha capacidade de previsão. A teoria não é testável, nem existe um jeito de extrair dela novas informações. Pelo contrário, ela produz um fluxo interminável de tautologias vazias – que estamos aqui porque estamos aqui.

Guth também descarta o princípio antrópico, afirmando: “Acho difícil acreditar que alguém usasse o princípio antrópico se tivesse uma explicação melhor para alguma coisa. Ainda não ouvi falar, por exemplo, de um princípio antrópico da história mundial... O princípio antrópico é algo que as pessoas fazem quando não conseguem pensar em nada melhor.”[10]

MULTIVERSO

Outros cientistas, como *Sir* Martin Rees, da Universidade de Cambridge, pensam que estes acidentes cósmicos dão indícios da existência do multiverso. Rees acredita que a única maneira de esclarecer o fato de que vivemos dentro de uma banda incrivelmente diminuta de centenas de “coincidências” é postular a existência de milhões de universos paralelos. Neste multiverso de universos, a maioria dos universos morreu. O próton não é estável. Os átomos jamais condensam. O DNA nunca se forma. O universo colapsa prematuramente ou congela quase de imediato. Mas, no nosso universo, uma série de acidentes cósmicos aconteceu, não necessariamente por causa da mão de Deus, mas por causa da lei das médias.

Em certo sentido, *Sir* Martin Rees é a última pessoa que se poderia esperar que defendesse a ideia de universos paralelos. Ele é o astrônomo real da Inglaterra e tem uma grande responsabilidade representando o ponto de vista oficial sobre o universo. De cabelos grisalhos, distinto, com trajes impecáveis, ele é igualmente fluente ao falar das maravilhas do cosmo e das preocupações do público em geral.

Não por acaso, ele acredita que o universo está bem sintonizado para permitir que a vida exista. Simplesmente existem acidentes demais para o universo estar numa banda tão estreita que permita a vida. “A aparente sintonia fina da qual depende a nossa existência poderia ser uma coincidência”, escreve Rees. “Antes eu pensava assim. Mas essa visão agora parece estreita demais... Uma vez aceitando isto, várias características aparentemente especiais do nosso universo –

aquelas que alguns teólogos um dia citaram como evidência da Providência ou desígnio – não causam surpresa.”[11]

Rees tentou dar substância aos seus argumentos quantificando alguns destes conceitos. Ele afirma que o universo parece ser governado por seis números, cada um deles mensurável e perfeitamente sintonizado. Estes seis números devem satisfazer as condições para a vida ou criam universos mortos.

Primeiro é o Epsilon, igual a 0,007, que é a quantidade relativa de hidrogênio que se converte em hélio via fusão no Big Bang. Se este número fosse 0,006 em vez de 0,007, isto enfraqueceria a força nuclear, e prótons e nêutrons não se ligariam uns aos outros. O deutério (com um próton e um nêutron) não poderia se formar, portanto os elementos mais pesados jamais teriam sido criados nas estrelas, os átomos dos nossos corpos não poderiam ter se formado e todo o universo inteiro teria se dissolvido em hidrogênio. Até uma pequena redução na força nuclear criaria instabilidade na tabela periódica dos elementos e haveria menos elementos estáveis com os quais criar vida.

Se Epsilon fosse 0,008, então a fusão teria sido tão rápida que nenhum hidrogênio teria sobrevivido ao Big Bang, e não haveria estrelas hoje para dar energia aos planetas. Ou talvez dois prótons tivessem se ligado, também tornando a fusão nas estrelas impossível. Rees aponta para o fato de Fred Hoyle ter descoberto que mesmo uma mudança tão pequena como 4 por cento na força nuclear teria impossibilitado a formação de carbono nas estrelas, tornando os elementos mais pesados e, portanto, a vida impossíveis.[12] Hoyle descobriu que, mudando-se ligeiramente a força nuclear, o berílio seria tão instável que jamais poderia ser uma “ponte” para formar átomos de carbono.

O segundo é N, igual a 10^{36}, que é a intensidade da força elétrica dividida pela intensidade da gravitação, que mostra como a gravidade é fraca. Se a gravidade fosse ainda mais fraca, as estrelas não poderiam se condensar e criar as enormes temperaturas necessárias para a fusão. Por conseguinte, as estrelas não brilhariam e os planetas mergulhariam numa escuridão congelante.

Mas, se a gravidade fosse um pouco mais forte, isto faria com que as estrelas se aquecessem depressa demais, e elas queimariam o seu combustível tão rápido que a vida jamais poderia ter início. Além disso, uma gravidade mais forte significaria que as galáxias se formariam mais cedo e seriam muito pequenas. As estrelas seriam mais densamente apinhadas, causando desastrosas colisões entre várias estrelas e planetas.

O terceiro é o Ômega, a densidade relativa do universo. Se Ômega fosse pequeno demais, o universo teria se expandido e resfriado muito rápido. Mas, se Ômega fosse muito grande, o universo teria entrado em colapso antes que a vida

pudesse começar. Rees escreve: “Um segundo depois do Big Bang, Ômega não pode ter se diferenciado da unidade em mais do que uma parte em um milhão de bilhões (um em 10^{15}) para que o universo agora, depois de 10 bilhões de anos, esteja ainda se expandindo e com um valor de Ômega que certamente não se afastou excessivamente da unidade.”[13]

O quarto é o Lambda, a constante cosmológica, que determina a aceleração do universo. Se ele fosse apenas algumas vezes maior, a antigravidade criada faria o universo explodir, enviando-o para um grande congelamento imediato, tornando a vida impossível. Mas, se a constante cosmológica fosse negativa, o universo teria se contraído violentamente numa grande implosão, cedo demais para a vida se formar. Em outras palavras, a constante cosmológica, como Ômega, também precisa estar em uma certa banda estreita para a vida ser possível.

O quinto é o Q, a amplitude das irregularidades no fundo de microondas cósmico, que é igual a 10^{-5}. Se este número fosse um pouquinho menor, o universo seria extremamente uniforme, uma massa sem vida de gases e poeira, que jamais se condensaria nas estrelas e galáxias de hoje. O universo seria escuro, uniforme, desinteressante e sem vida. Se Q fosse maior, a matéria teria se condensado, mais cedo na história do universo, em imensas estruturas supergalácticas. Estas “grandes porções de matéria teriam se condensado em enormes buracos negros”,[14] diz Rees. Estes buracos negros seriam mais pesados do que todo um aglomerado de galáxias. As estrelas que podem se formar neste enorme aglomerado de gases estariam tão espremidas umas contra as outras que os sistemas planetários seriam impossíveis.

O último é o D, o número de dimensões espaciais. Devido ao interesse pela teoria M, os físicos retornaram à questão de saber se a vida é possível em dimensões superiores ou inferiores. Se o espaço é unidimensional, então a vida provavelmente não pode existir porque o universo é trivial. Em geral, quando os físicos tentam aplicar a teoria quântica a universos unidimensionais, descobrimos que as partículas se atravessam mutuamente sem interagirem. Portanto, é possível que universos existentes em uma dimensão não possam suportar a vida porque as partículas não se “grudam” para formar objetos cada vez mais complexos.

Em duas dimensões espaciais, também temos um problema porque as formas de vida provavelmente se desintegrariam. Imagine uma corrida de seres bidimensionais, chamados Flatlanders (os habitantes da Terra Plana), vivendo sobre a superfície de uma mesa. Imagine-os tentando comer. A passagem que vai da sua boca até a sua traseira racharia o Flatlander ao meio, e ele se desmontaria. Assim, é difícil imaginar como um Flatlander poderia existir como um ser

complexo sem se desintegrar ou se desmontar em vários pedaços.

Outro argumento da biologia indica que a inteligência não pode existir em menos de três dimensões. Nosso cérebro consiste em um grande número de neurônios sobrepostos, conectados por uma imensa rede elétrica. Se o universo fosse unidimensional ou bidimensional, seria difícil construir redes neurais complexas, especialmente se entram em curto-circuito por estarem colocadas umas em cima das outras. Em dimensões inferiores, somos gravemente limitados pelo número de circuitos lógicos complexos e neurônios que podemos colocar numa pequena área. Nosso próprio cérebro, por exemplo, consiste em aproximadamente 100 bilhões de neurônios, mais ou menos o mesmo número de estrelas da Via Láctea, com cada neurônio conectado a cerca de 10 mil outros neurônios. Seria difícil reproduzir esta complexidade em dimensões inferiores.

Em quatro dimensões espaciais, temos outro problema: os planetas não são estáveis em suas órbitas em torno do Sol. A lei do inverso do quadrado de Newton é substituída por uma lei do inverso do cubo e, em 1917, Paul Ehrenfest, colega íntimo de Einstein, especulou sobre como seria a física em outras dimensões. Ele analisou o que se chama de equação de Poisson-Laplace (que governa o movimento de objetos planetários, assim como cargas elétricas em átomos) e descobriu que as órbitas não são estáveis em quatro ou mais dimensões espaciais. Visto que os elétrons em átomos, assim como os planetas, sofrem colisões aleatoriamente, isto significa que átomos e sistemas solares provavelmente não podem existir em dimensões superiores. Em outras palavras, três dimensões são especiais.

Para Rees, o princípio antrópico é um dos argumentos mais atraentes para o multiverso. Do mesmo modo que a existência de zonas de Goldilocks para a Terra implica planetas extrassolares, a existência de zonas de Goldilocks para o universo implica existirem universos paralelos. Rees comenta: “Se há um grande estoque de roupas, você não se surpreende em encontrar um terno que sirva. Se há muitos universos, cada um governado por um conjunto diferente de números, haverá um onde existe um conjunto particular de números adequado à vida. É neste que estamos.”[15] Em outras palavras, o nosso universo é do jeito que é graças à lei das médias sobre muitos universos no multiverso, não por um desígnio superior.

Weinberg parece concordar neste ponto. Weinberg, de fato, acha a ideia de um multiverso intelectualmente agradável. Ele jamais gostou da ideia de que o tempo poderia, de repente, passar a existir com o Big Bang e que pudesse não existir antes disso. Num multiverso, temos a criação eterna de universos.

Há outra razão peculiar para Rees preferir a ideia do multiverso. O universo, acredita ele, contém uma pequena quantidade de “feiura”. Por exemplo, a órbita

da Terra é ligeiramente elíptica. Se fosse perfeitamente esférica, então se poderia dizer, como fazem os teólogos, que ela é um subproduto de intervenção divina. Mas não é, indicando certa quantidade de aleatoriedade dentro da estreita banda de Goldilocks. Da mesma forma, a constante cosmológica não é perfeitamente zero, mas é pequena, o que indica que o nosso universo “não é mais especial do que a nossa presença requer”. Tudo isto é coerente com o nosso universo ter sido gerado aleatoriamente, por acaso.

A EVOLUÇÃO DOS UNIVERSOS

Sendo um astrônomo, e não um filósofo, Rees diz que a conclusão é que todas estas teorias têm de ser testáveis. Na verdade, esta é a razão para ele preferir a ideia do multiverso em vez das teorias místicas concorrentes. A teoria do multiverso, acredita ele, pode ser testada nos próximos vinte anos.

Uma variação da ideia do multiverso, na verdade, pode ser testada hoje. O físico Lee Smolin vai ainda mais longe do que Rees e supõe ter ocorrido uma “evolução” de universos, análoga à evolução darwiniana, que acabou dando origem a universos como o nosso. Na teoria inflacionária caótica, por exemplo, as constantes físicas dos universos “filhos” têm constantes físicas ligeiramente diferentes das do universo mãe. Se os universos podem brotar de buracos negros, como alguns físicos acreditam, então os universos que dominam o multiverso são aqueles com o maior número de buracos negros. Isto significa que, como no reino animal, os universos que dão origem à maior quantidade de “filhos”, no final, dominam e espalham a sua “informação genética” – as constantes físicas da natureza. Se isso for verdade, então o nosso universo pode ter tido um número infinito de universos ancestrais no passado, e o nosso é um subproduto de trilhões de anos de seleção natural. Em outras palavras, o nosso universo é o subproduto da sobrevivência do mais apto, o que significa que é o filho de universos com o maior número de buracos negros.

Embora uma evolução darwiniana entre universos seja uma ideia nova e estranha, Smolin acredita que ela pode ser testada simplesmente contando-se o número de buracos negros. O nosso universo deveria ser ao máximo favorável à criação de buracos negros. (Entretanto, ainda é preciso provar que universos com o maior número de buracos negros são aqueles que favorecem a vida, como o nosso.)

Como esta ideia é testável, contraexemplos podem ser considerados. Por exemplo, talvez possa se demonstrar, ajustando-se hipoteticamente os

parâmetros físicos do universo, que os buracos negros são produzidos com mais rapidez em universos sem vida. Por exemplo, talvez seja possível mostrar que um universo com uma força nuclear muito mais forte tem estrelas que se extinguem rapidíssimo, criando um grande número de supernovas que, em seguida, colapsam em buracos negros. Num universo desses, um valor maior para a força nuclear significa que as estrelas vivem por breves períodos, e portanto não pode começar a ter vida. Mas este universo também poderia ter mais buracos negros, invalidando portanto a ideia de Smolin. A vantagem desta ideia é que ela pode ser testada, reproduzida ou falsificada (a marca registrada de qualquer teoria científica verdadeira). O tempo dirá se ela se sustenta ou não.

Embora qualquer teoria que envolva buracos de minhoca, supercordas e dimensões superiores esteja além da nossa atual capacidade experimental, novos experimentos estão agora sendo realizados, e outros planejados para o futuro, e poderão determinar se estas teorias estão corretas ou não. Estamos no meio de uma revolução na ciência experimental, com a potência total de satélites, telescópios espaciais, detectores de ondas gravitacionais e lasers atuando nestas questões. A colheita abundante destes experimentos poderia muito bem solucionar algumas das questões mais misteriosas da cosmologia.

CAPÍTULO NOVE

EM BUSCA DOS ECOS DA DÉCIMA PRIMEIRA DIMENSÃO

Reivindicações extraordinárias requerem provas extraordinárias.
– Carl Sagan

Universos paralelos, portais dimensionais e dimensões superiores, por mais espetaculares que sejam, requerem provas incontestáveis de sua existência. Como diz o astrônomo Ken Croswell: "Outros universos podem ser estimulantes: você fala o que quiser sobre eles e nunca estará errado, desde que os astrônomos nunca os vejam."[1] Antes, não havia esperança de testar muitas destas previsões, dado o primitivismo de nosso equipamento experimental. Entretanto, avanços recentes na tecnologia de computadores, lasers e satélites colocaram muitas destas teorias provocantemente próximas da verificação experimental.

A verificação direta destas ideias pode se revelar dificílima, mas a verificação indireta pode estar a nosso alcance. Às vezes, esquecemos que boa parte da ciência astronômica é feita de forma indireta. Por exemplo, ninguém jamais esteve no Sol ou nas estrelas, no entanto sabemos do que são feitas as estrelas ao analisarmos a luz emitida por esses objetos luminosos. Analisando o espectro da luz das estrelas, sabemos indiretamente que elas são feitas basicamente de hidrogênio e alguma parte de hélio. Da mesma maneira, ninguém jamais viu um buraco negro, e, de fato, buracos negros são invisíveis, não podem ser vistos diretamente. Entretanto, vemos evidências indiretas da sua existência procurando por discos de acreção e calculando a massa dessas estrelas mortas.

Em todos estes experimentos, procuramos "ecos" das estrelas e buracos negros para determinar a sua natureza. Do mesmo modo, a décima primeira dimensão pode estar fora do nosso alcance direto, mas há meios pelos quais a inflação e a teoria das supercordas podem ser verificadas, à luz dos novos instrumentos revolucionários agora disponíveis.

GPS E RELATIVIDADE

O exemplo mais simples de como os satélites revolucionaram as pesquisas sobre a relatividade é o Sistema de Posicionamento Global – GPS (Global Positioning System), no qual 24 satélites estão continuamente em órbita da Terra, emitindo pulsos precisos e sincronizados que permitem que uma pessoa triangule a sua própria posição no planeta com extraordinária exatidão. O GPS tornou-se um artigo essencial para a navegação, para o comércio assim como para a guerra. Tudo, de mapas computadorizados dentro de carros até mísseis teleguiados, depende da capacidade de sincronizar sinais até 50 bilionésimos de segundo e localizar um objeto na Terra até 14 metros.[2] Mas, para garantir esta incrível precisão, os cientistas precisam calcular ligeiras correções das leis de Newton devido à relatividade, que afirma que ondas de rádio sofrerão uma leve mudança de frequência à medida que os satélites voam pelo espaço cósmico.[3] De fato, se nós, numa atitude tola, descartarmos as correções devido à relatividade, então os relógios GPS andarão 40.000 bilhões de segundo mais rápido a cada dia, e todo o sistema deixará de ser confiável. A teoria da relatividade é, portanto, totalmente essencial para o comércio e para as forças armadas. O físico Clifford Will, que instruiu um general da Força Aérea dos Estados Unidos a respeito das correções cruciais para o GPS originadas da teoria da relatividade de Einstein, certa vez comentou que soube que a teoria da relatividade havia atingido a maioridade quando até oficiais de alta patente do Pentágono tiveram de ser instruídos a seu respeito.

DETECTORES DE ONDAS GRAVITACIONAIS

Até agora, quase tudo o que sabemos sobre a astronomia veio na forma de radiação eletromagnética, seja a luz de estrelas, sinais de rádio ou microondas do espaço cósmico. Agora, os cientistas estão introduzindo o primeiro novo meio para descobertas científicas, a própria gravitação. “Sempre que olhamos o céu de uma nova maneira, vimos um novo universo”, diz Gary Sanders da Cal Tech e subdiretor do projeto de ondas gravitacionais.[4]

Foi Einstein, em 1916, quem propôs pela primeira vez a existência de ondas gravitacionais. Considere o que aconteceria se o Sol desaparecesse. Lembra da analogia da bola de boliche afundando num colchão? Ou melhor, na rede de uma cama elástica? Se a bola é removida de repente, a rede imediatamente voltará a sua posição original, criando ondas de choque que saem ondulando em toda a extensão da rede. Se a bola de boliche é substituída pelo Sol, então vemos que as ondas de choque gravitacionais viajam a uma velocidade específica, a

velocidade da luz.

Embora Einstein mais tarde encontrasse a solução exata para as suas equações, que permitiam ondas gravitacionais, ele perdeu a esperança de ver sua previsão verificada antes de sua morte. As ondas gravitacionais são extremamente fracas. Até as ondas de choque de estrelas em colisão não são fortes o suficiente para serem medidas pelos experimentos atuais.

No presente, as ondas gravitacionais só têm sido medidas indiretamente. Dois físicos, Russel Hulse e Joseph Taylos, Jr., conjecturaram que, se você analisar estrelas de nêutrons binárias em círculo perseguindo-se mutuamente no espaço, cada uma delas emitirá uma sucessão de ondas gravitacionais, semelhante ao rastro deixado quando se revolve o melado, à medida que suas órbitas lentamente decaem. Eles analisaram a espiral de morte de duas estrelas de nêutrons enquanto elas espiralavam pouco a pouco uma na direção da outra. O foco da sua investigação era a estrela de nêutrons dupla PSR 1913+16, localizada cerca de 16 mil anos-luz da Terra, que orbitam em torno uma da outra a cada 7 horas e 45 minutos, emitindo ondas gravitacionais para o espaço cósmico.

Usando a teoria de Einstein, eles descobriram que as duas estrelas deveriam se aproximar um milímetro a cada revolução. Embora esta seja uma distância fantasticamente pequena, em um ano ela aumenta para 914 cm, à medida que a órbita de 700 mil quilômetros aos poucos vai diminuindo de tamanho. Seu trabalho pioneiro mostrou que a órbita decaía exatamente conforme previsto pela teoria de Einstein baseada nas ondas gravitacionais. (As equações de Einstein, de fato, preveem que as estrelas acabarão mergulhando uma dentro da outra em 240 milhões de anos, devido à perda de energia irradiada para o espaço na forma de ondas gravitacionais.) Por seu trabalho, eles ganharam o prêmio Nobel de física em 1993.[5]

Podemos também voltar atrás e usar este experimento de precisão para medir a acuidade da própria teoria da relatividade geral. Quando os cálculos são feitos ao inverso, descobrimos que a relatividade geral é, no mínimo, 99,7 por cento precisa.

O DETECTOR DE ONDAS GRAVITACIONAIS LIGO

Mas, para extrair informações úteis sobre o início do universo, é preciso observar as ondas gravitacionais diretamente, não indiretamente. Em 2003, o primeiro detector de ondas gravitacionais operacional, LIGO (Laser

Interferometer Gravitational-Wave Observatory) finalmente foi ligado, realizando um sonho alimentado havia décadas de sondar os mistérios do universo com ondas gravitacionais. A meta do LIGO é detectar eventos cósmicos muito distantes ou muito pequenos para que sejam observados por telescópios na Terra, tais como buracos negros em colisão ou estrelas de nêutrons.

O LIGO consiste em duas instalações de laser gigantescas, uma em Hanford, Washington, e a outra em Livingston Parish, Louisiana. Cada instalação tem dois tubos, cada um com 4 quilômetros de comprimento, criando uma tubulação em L enorme. Dentro de cada tubo é disparado um laser. Na articulação do L, os dois raios laser colidem e suas ondas interferem uma com outra. Normalmente, na ausência de perturbações, as duas ondas estão sincronizadas de modo a se anularem mutuamente. Mas quando mesmo uma minúscula onda gravitacional emitida por buracos negros ou estrelas de nêutrons em colisão atinge o equipamento, uma das pernas do L se contrai e expande de modo diferente da outra. Basta esta perturbação para quebrar o delicado cancelamento dos dois raios laser. O resultado é que os dois raios, em vez de se anularem, criam um padrão de interferência ondulatório característico que um computador é capaz de analisar minuciosamente. Quanto maior a onda gravitacional, maior a diferença entre os dois raios laser, e maior o padrão de interferência.

O LIGO é uma maravilha da engenharia. Visto que as moléculas de ar podem absorver a luz laser, a pressão atmosférica dentro do tubo que contém a luz precisa ser reduzida a um trilionésimo de seu valor. Cada detector comporta 8.500 metros cúbicos de espaço, o que significa que o LIGO tem o maior vácuo artificial do mundo. O que dá ao LIGO tal sensibilidade, em parte, é o projeto dos espelhos, controlados por minúsculos ímãs, seis ao todo, cada um do tamanho de uma formiga. Os espelhos são tão polidos que a sua precisão é de um para 30 bilionésimos de polegada. “Imagine se a terra fosse assim lisa. Então as montanhas em média não subiriam mais do que 3 centímetros”,[6] diz GariLynn Billingsley, que monitora os espelhos. São tão delicados que podem ser movidos menos de um milionésimo de metro, o que talvez faça dos espelhos do LIGO os mais sensíveis do mundo. “O queixo da maioria dos engenheiros dos sistemas de controle cai quando eles ouvem falar do que estamos tentando fazer”,[7] diz o cientista do LIGO, Michael Zucker.

Como o LIGO tem um equilíbrio tão delicado, às vezes sofre com ligeiras vibrações indesejadas das mais improváveis origens. O detector na Louisiana, por exemplo, não pode funcionar durante o dia devido ao trabalho de lenhadores que cortam árvores a 460 metros do local. (O LIGO é tão sensível que mesmo que o corte da madeira fosse feito a um quilômetro e meio dali, continuaria sem

poder funcionar de dia.) Até à noite, as vibrações dos trens de carga que passam à meia-noite e às seis horas da manhã limitam o tempo de operação contínua do LIGO.

Até coisas tênues como ondas do mar batendo na praia a quilômetros de distância podem afetar os resultados. As ondas nas praias da América do Norte quebram a cada seis segundos, em média, gerando um sussurro que pode ser captado pelos lasers. A frequência do ruído é tão baixa, de fato, que penetra direto na terra. “Parece um ronco surdo”, diz Zucker, comentando sobre este barulho da maré. “É uma enorme dor de cabeça durante a estação dos furacões na Louisianna.”[8] O LIGO também é afetado pelas marés criadas pela atração gravitacional da Lua e do Sol sobre a Terra, criando uma perturbação de vários milionésimos de polegada.

A fim de eliminar estas perturbações incrivelmente minúsculas, os engenheiros do LIGO fizeram de tudo para isolar boa parte do equipamento. Cada sistema a laser apoia-se no alto de duas imensas plataformas de aço inoxidável, um sobre o outro; cada nível é separado por molas para amortecer qualquer vibração. Cada instrumento ótico sensível tem o seu próprio sistema de isolamento sísmico;[9] o piso é uma laje de concreto com 76 centímetros de espessura que não se une às paredes.

O LIGO, na verdade, faz parte de um consórcio internacional que inclui o detector franco-italiano chamado VIRGO, em Pisa, na Itália, o detector japonês chamado TAMA, nos arredores de Tóquio, e o detector britânico-alemão chamado GEO600, em Hanover, na Alemanha. Ao todo, a construção final do LIGO custará 292 milhões de dólares (mais 80 milhões para manutenções e atualizações), tornando-o o projeto mais caro que a National Science Foundation já patrocinou.[10]

Mas até com essa sensibilidade, muitos cientistas concordam que o LIGO talvez não seja sensível o bastante para detectar eventos realmente interessantes durante o seu tempo de vida. A próxima atualização das instalações, o LIGO II, está programada para 2007, se o financiamento sair. Se o LIGO não detectar ondas gravitacionais, a aposta é que o LIGO II o fará. O cientista do LIGO Kenneth Libbrecht afirma que o LIGO II melhorará mil vezes a sensibilidade do equipamento: “Você passa de um evento [detectado] a cada dez anos, o que é angustiante, para um evento a cada três dias, o que é muito bom.”[11]

Para que o LIGO detecte a colisão de dois buracos negros (numa distância de 300 milhões de anos-luz), um cientista poderia esperar de um a mil anos. Muitos astrônomos talvez pensem duas vezes antes de investigar um evento desses com o LIGO, se isto significar que os netos dos seus tataranetos é que irão

testemunhá-lo. Mas, como diz o cientista do Ligo Peter Saulson: “As pessoas sentem prazer em solucionar estes desafios técnicos, mais ou menos como os construtores de catedrais na Idade Média continuavam trabalhando, sabendo que talvez não veriam a igreja acabada. Mas, se não houvesse a possibilidade de ver uma onda gravitacional durante minha vida profissional, eu não estaria nesta área. Não é apenas a febre do Nobel... Os níveis de precisão que estamos lutando para alcançar marcam o nosso ofício; se você faz isto, tem ‘a coisa certa’.”[12] Com o LIGO II, é bem mais provável que se descubra um evento realmente interessante enquanto nós vivermos.[13] O LIGO II talvez detecte buracos negros em colisão a uma distância muito maior de 6 bilhões de anos-luz, a uma frequência de dez por dia a dez por ano.

Mas nem o LIGO II terá potência suficiente para detectar ondas gravitacionais emitidas desde o instante da criação. Para isso, precisamos esperar mais quinze ou vinte anos pelo LISA.

O DETECTOR DE ONDAS GRAVITACIONAIS LISA

A LISA (Laser Interferometry Space Antenna – Antena Espacial de Interferometria a Laser) representa a próxima geração de detectores de ondas gravitacionais. Ao contrário do LIGO, ela estará operando no espaço cósmico. Por volta de 2010, a NASA e a Agência Espacial Europeia planejam lançar três satélites no espaço; eles ficarão na órbita do Sol a aproximadamente 50 milhões de quilômetros da Terra. Os três detectores a laser formarão um triângulo equilátero no espaço (5 milhões de quilômetros de lado). Cada satélite terá dois lasers que permitirão estar em constante contato com os outros dois satélites. Embora cada laser dispare um raio com apenas meio watt de potência, os instrumentos óticos são tão sensíveis que poderão detectar vibrações de ondas gravitacionais com uma precisão de um para um bilhão de trilhões (correspondendo a um desvio que é um centésimo da largura de um único átomo). A LISA deverá ser capaz de detectar ondas gravitacionais de uma distância de 9 bilhões de anos-luz, que atravessa quase todo o universo visível.

A acuidade da LISA será tamanha que ela poderá detectar as ondas de choque originárias do próprio Big Bang. Isto nos dará, de longe, a visão mais precisa do instante da criação. Se tudo correr conforme planejado, a LISA deverá ser capaz de ver o primeiro trilionésimo de segundo depois do Big Bang, tornando-se provavelmente a mais potente de todas as ferramentas cosmológicas.[14] Acredita-se que a LISA talvez consiga encontrar os primeiros dados

experimentais sobre a natureza exata da teoria de campo unificada, a teoria de tudo.

Um objetivo importante da LISA é dar a “prova irrefutável” para a teoria inflacionária. Até agora, a inflação é coerente com todos os dados cosmológicos (achatamento, flutuações no fundo cósmico e outras coisas mais). Mas isso não significa que a teoria esteja correta. Para confirmá-la, os cientistas precisam examinar as ondas gravitacionais que foram disparadas pelo próprio processo inflacionário. A “digital” das ondas gravitacionais no instante do Big Bang deverá mostrar a diferença entre a teoria da inflação e qualquer outra rival. Alguns, como Kip Thorne, da Cal Tech, acreditam que a LISA seja capaz de dizer se alguma versão da teoria das cordas está correta. Como expliquei no Capítulo 7, a teoria do universo inflacionário prevê que as ondas gravitacionais que partiram do Big Bang devem ter sido muito violentas, correspondendo à rápida expansão exponencial do início do universo, enquanto o modelo equipirótico prevê uma expansão mais delicada, acompanhada por ondas gravitacionais mais suaves. A LISA deverá ser capaz de descartar várias teorias rivais do Big Bang e fazer um teste crucial da teoria das cordas.

ANÉIS E LENTES DE EINSTEIN

Outra poderosa ferramenta para a exploração do cosmo é o uso das lentes gravitacionais e “anéis de Einstein”. Desde 1801, o astrônomo berlinense Johan Georg von Soldner conseguiu calcular o possível desvio de luz estelar pela gravidade do Sol (embora, por Soldner ter usado argumentos exclusivamente newtonianos, ele errou por um fator crucial de 2. Einstein escreveu: “Metade deste desvio é produzido pelo campo newtoniano de atração solar, a outra metade pela modificação geométrica [‘curvatura’] de espaço causada pelo sol”). [15]

Em 1912, antes ainda de ter concluído a versão final da relatividade geral, Einstein pensou na possibilidade de usar este desvio como uma “lente”, do mesmo modo que os óculos que você usa curvam a luz antes de chegar aos seus olhos. Em 1936, um engenheiro tcheco, Rudi Mandl, escreveu a Einstein perguntando se uma lente gravitacional poderia ampliar a luz de uma estrela próxima. A resposta foi sim, mas estaria além da tecnologia deles detectar isto.

Em particular, Einstein percebeu que veríamos ilusões de ótica, como imagens duplas do mesmo objeto ou uma distorção da luz semelhante a um anel. A luz de galáxias muito distantes passando próxima do nosso Sol, por exemplo, viajaria

tanto para a esquerda quanto para a direita antes que os raios voltassem a se unir e atingir o nosso olho. Quando olhamos a galáxia distante, vemos um padrão parecido com um anel, uma ilusão de ótica causada pela relatividade geral. Einstein concluiu que “não havia muita esperança de observar este fenômeno diretamente”.[16] De fato, ele escreve que este trabalho “é de pouco valor, mas deixa o pobre sujeito [Mandl] contente”.

Mais de quarenta anos depois, em 1979, a primeira evidência parcial de lentes foi encontrada por Dennis Walsh, do Jordell Bank Observatory, na Inglaterra, que descobriu o quasar duplo Q0957+561.[17] Em 1988, o primeiro anel de Einstein foi observado na fonte de ondas de rádio MG1131+0456. Em 1997, o telescópio espacial Hubble e o radiotelescópio MERLIN, do Reino Unido, captaram o primeiro anel de Einstein totalmente circular ao analisarem a galáxia distante 1938+666, justificando, mais uma vez, a teoria de Einstein. (O anel é minúsculo, apenas um segundo de arco ou mais ou menos o tamanho de uma moedinha de centavo vista de 3 quilômetros de distância.) Os astrônomos descreveram a empolgação que sentiram ao testemunhar este evento histórico: “À primeira vista, parecia artificial, e pensamos que fosse algum defeito na imagem, mas depois percebemos que estávamos olhando um anel de Einstein perfeito!”, disse Ian Brown, da Universidade de Manchester. Hoje, os anéis de Einstein são uma ferramenta essencial no arsenal dos astrofísicos.[18] Cerca de 64 quasares duplos, triplos e múltiplos (ilusões causadas pelas lentes de Einstein) foram vistos no espaço cósmico ou aproximadamente um em cada quinhentos quasares observados.

Mesmo as formas invisíveis de matéria, como a matéria escura, podem ser “vistas” analisando-se as distorções que elas criam nas ondas de luz. Deste modo, é possível obter “mapas” que mostram a distribuição de matéria escura no universo. Visto que as lentes de Einstein distorcem aglomerados galácticos ao criarem grandes arcos (e não anéis), é possível estimar a concentração de matéria escura nestes aglomerados. Em 1986, os primeiros arcos galácticos gigantescos foram descobertos por astrônomos no Observatório Nacional de Astronomia Ótica, da Universidade de Stanford, e no Observatório Midi-Pyrenees, na França. Desde então, cerca de centenas de arcos galácticos foram descobertos, os mais dramáticos no aglomerado de galáxias Abell 2218.[19]

As lentes de Einstein também podem ser usadas como um método independente para medir a quantidade de MACHOs no universo (que consiste em matéria comum como estrelas mortas, anãs marrons e nuvens de poeira). Em 1986, Bohdan Paczynski, de Princeton, percebeu que se os MACHOs passassem na frente de uma estrela, eles ampliariam a sua luminosidade e criariam uma

segunda imagem.

No início da década de 1990, várias equipes de cientistas (como a EROS francesa, a MACHO americano-australiana, e a OGLE polonesa-americana) aplicaram esse método ao centro da Via Láctea e descobriram mais de quinhentos eventos de microlentes (mais do que o esperado, porque parte dessa matéria consistia de estrelas de pouca massa e não verdadeiros MACHOs). Esse mesmo método pode ser usado para encontrar planetas extrassolares orbitando outras estrelas. Visto que um planeta pode exercer um efeito gravitacional mínimo, porém notável, sobre a luz da estrela mãe, as lentes de Einstein podem, em princípio, detectá-las. Esse método já identificou alguns candidatos a planetas extrassolares, alguns próximos do centro da Via Láctea.

Até a constante de Hubble e a constante cosmológica podem ser medidas usando as lentes de Einstein. A constante de Hubble é medida fazendo-se uma observação sutil. O brilho dos quasares aumenta e diminui com o tempo; podia-se esperar que os quasares duplos, sendo imagens do mesmo objeto, oscilariam no mesmo ritmo. Na verdade, estes quasares gêmeos quase não oscilam em uníssono. Usando a distribuição conhecida de matéria, os astrônomos podem calcular o atraso no tempo dividido pelo total do tempo que a luz levou para chegar à Terra. Ao medir o atraso de tempo no brilho dos quasares duplos, pode-se então calcular a sua distância da Terra. Conhecendo o seu desvio para o vermelho, pode-se então calcular a constante de Hubble. (Este método foi aplicado ao quasar Q0957+561, que se descobriu estar mais ou menos a 14 bilhões de anos-luz da Terra. Desde então, a constante de Hubble tem sido computada analisando-se sete outros quasares. Dentro dos limites de erro, estes cálculos estão de acordo com os resultados conhecidos. O interessante é que este método é totalmente independente do brilho das estrelas, como as Cefeidas e supernovas do tipo Ia, o que dá um controle independente dos resultados.)

A constante cosmológica, que pode ser a chave do futuro do nosso universo, também pode ser medida por este método. O cálculo é um tanto grosseiro, mas também está de acordo com outros métodos. Visto que o volume total de nosso universo era menor bilhões de anos atrás, a probabilidade de encontrar quasares que formarão uma lente de Einstein também era maior no passado. Assim, ao medir o número de quasares duplos em épocas diferentes na evolução do universo, pode-se, mais ou menos, calcular o volume total do universo e portanto a constante cosmológica que está ajudando a impulsionar a expansão do universo. Em 1998, os astrônomos do Centro de Astrofísica Harvard-Smithsonian fizeram a primeira estimativa aproximada da constante cosmológica e concluíram que provavelmente compunha não mais do que 62 por cento do conteúdo total de matéria/energia do universo. (O resultado real do WMAP é de

73 por cento.)[20]

MATÉRIA ESCURA NA SUA SALA DE ESTAR

A matéria escura, se permeia mesmo o universo, não existe somente no vácuo frio do espaço. Na verdade, ela deveria ser encontrada também na sua sala de estar. Hoje, várias equipes de pesquisa estão disputando para ver quem será o primeiro a apanhar a primeira partícula de matéria escura no laboratório. As apostas são altas; e a equipe capaz de capturar uma partícula de matéria escura disparando através dos seus detectores será a primeira a detectar uma nova forma de matéria em 2 mil anos.

A ideia central por trás destes experimentos é ter um grande bloco de matéria pura (como iodeto de sódio, óxido de alumínio, fréon, germânio ou silício), na qual partículas de matéria escura possam interagir. Ocasionalmente, uma partícula de matéria escura pode colidir com o núcleo de um átomo e causar um padrão de decaimento característico. Fotografando os rastros das partículas envolvidas neste decaimento, os cientistas podem então confirmar a presença de matéria escura.

Os pesquisadores estão cautelosamente otimistas, visto que a sensibilidade do seu equipamento lhes dá a melhor oportunidade até agora de observar a matéria escura. Nosso sistema solar orbita em torno do buraco negro no centro da Via Láctea a 220 quilômetros por segundo. Como resultado, o nosso planeta está atravessando uma quantidade considerável de matéria escura. Os físicos estimam que um bilhão de partículas de matéria escura escoem por cada metro quadrado do nosso mundo a cada segundo, inclusive através de nossos corpos.[21]

Embora vivamos numa "ventania de matéria escura" que sopra através do nosso sistema solar, tem sido muito difícil realizar experimentos para detectá-la em laboratório porque suas partículas interagem muito fracamente com a matéria comum. Por exemplo, os cientistas esperariam encontrar de 0,01 a 10 eventos por ano dentro de um só quilograma de material no laboratório. Em outras palavras, seria preciso observar com muita atenção uma grande quantidade desta matéria durante muitos anos para ver eventos consistentes com colisões de matéria escura.

Até agora, experimentos com acrônimos como UKDMC no Reino Unido; ROSEBUD em Canfranc, na Espanha; SIMPLE em Rustrel, na França; e Edelweiss, em Frejus, França, ainda não detectaram nenhum desses eventos.[22] Um experimento chamado DAMA, nos arredores de Roma, causou agitação em

1999, quando os cientistas disseram ter visto partículas de matéria escura. Como o DAMA usa 100 quilogramas de iodeto de sódio, ele é o maior detector do mundo. Entretanto, quando os outros detectores tentaram reproduzir esse mesmo resultado, não encontraram nada, lançando dúvidas quanto às constatações de DAMA.

O físico David B. Cline nota: “Se os detectores registrarem e verificarem um sinal, será aceito como um dos maiores feitos do século XXI... O maior mistério da astrofísica moderna pode, em breve, estar solucionado.”[23]

Se a matéria escura não demorar a ser encontrada, como muitos físicos esperam, isso pode dar apoio à supersimetria (e possivelmente, com o tempo, à teoria das supercordas) sem o uso de colisores de átomos.

A MATÉRIA ESCURA SUSY (SUPERSIMÉTRICA)

Uma rápida análise das partículas previstas pela supersimetria mostra que existem vários candidatos prováveis para explicar a matéria escura. Um é o neutralino, uma família de partículas que contêm o superparceiro do fóton. Teoricamente, o neutralino parece se encaixar nos dados. Não só tem carga neutra, e por conseguinte é invisível, como também tem massa (portanto é afetado apenas pela gravitação) e é estável. (Isto porque tem a menor quantidade de massa de qualquer partícula da sua família e, portanto, não pode decair a um estado mais baixo.) Por último, e talvez mais importante, o universo deveria estar cheio de neutralinos, o que faria deles candidatos ideais para a matéria escura.

Os neutralinos possuem uma grande vantagem: podem solucionar o mistério de por que a matéria escura compõe 23 por cento do conteúdo de matéria/energia do universo enquanto o hidrogênio e o hélio formam apenas insignificantes 4 por cento.

Lembre-se de que quando o universo tinha 380 mil anos de vida, a temperatura caiu até que os átomos não fossem mais cindidos pelas colisões causadas pelo intenso calor do Big Bang. Naquele momento, a bola de fogo em expansão começou a esfriar, condensar e formar átomos inteiros e estáveis. A abundância de átomos hoje data mais ou menos daquela época. A lição é que a abundância de matéria no universo data do tempo em que o universo havia esfriado o suficiente para a matéria poder ser estável.

Este mesmo argumento pode ser usado para calcular a abundância de neutralinos. Logo depois do Big Bang, a temperatura era tão escaldante que até

os neutralinos foram destruídos pelas colisões. Mas à medida que o universo resfriava, num determinado momento a temperatura caiu o bastante para que os neutralinos pudessem se formar sem serem destruídos. A abundância de neutralinos data desta era inicial. Ao fazermos este cálculo, descobrimos que a abundância de neutralinos é muito maior do que de átomos e, de fato, corresponde aproximadamente à abundância de matéria escura hoje. As partículas supersimétricas, portanto, podem explicar a razão de a matéria escura ser impressionantemente abundante por todo o universo.

O LEVANTAMENTO DO CÉU SLOAN

Embora muitos dos avanços no século XXI devam ser alcançados com instrumentos envolvendo satélites, isto não significa que a pesquisa com telescópios óticos e por rádio, assentados na Terra, tenha sido abandonada. Na verdade, o impacto da revolução digital mudou o modo como os radiotelescópios e telescópios óticos são utilizados, possibilitando análises estatísticas de centenas de milhares de galáxias. A tecnologia dos telescópios está agora tendo uma nova chance de vida devido a esta nova tecnologia.

Historicamente, os astrônomos disputavam a quantidade de tempo limitada durante o qual tinham o direito de usar os maiores telescópios do mundo. Eles preservavam com muito ciúme o seu precioso tempo nos instrumentos e varavam a noite trabalhando horas a fio em salas frias e úmidas. Esse método tão antiquado de observação era por demais ineficiente e, muitas vezes, motivo de rixas desagradáveis entre astrônomos que se sentiam ligeiramente desconsiderados pelo "clero" que monopolizava o tempo nos telescópios. Tudo isto está mudando com o advento da internet e da computação de alta velocidade.

Hoje, muitos telescópios são totalmente automatizados e podem ser programados a milhares de quilômetros de distância por astrônomos localizados em diferentes continentes. Os resultados dessas pesquisas estelares maciças podem ser digitalizados e, em seguida, colocados na internet, onde supercomputadores potentes depois analisam os dados. Um exemplo da potência desse método digital é o SETI@home, um projeto sediado na Universidade da Califórnia, em Berkeley, para analisar indícios de sinais de inteligência extraterrestre. A enorme quantidade de dados do radiotelescópio Aricebo, em Porto Rico, é separada em fragmentos digitais e posteriormente enviada pela internet aos PCs do mundo todo, principalmente para amadores. Um programa

de proteção de tela analisa os dados, em busca de sinais inteligentes, quando o PC não está em uso. Com este método, o grupo de pesquisa formou a maior rede de computadores do mundo, ligando cerca de cinco milhões de PCs de todos os pontos do globo.

O exemplo mais proeminente da exploração digital do universo hoje é o Sloan Sky Survey, o levantamento mais ambicioso do céu noturno jamais empreendido. Como o Palomar Sky Survey anterior, que usava chapas fotográficas antiquadas armazenadas em pesados volumes, o Sloan Sky Survey criará uma mapa preciso dos objetos no céu. O levantamento construiu três mapas tridimensionais de galáxias distantes em cinco cores, inclusive o desvio para o vermelho, de mais de um milhão de galáxias. A produção do Sloan Sky Survey é um mapa da estrutura em larga escala do universo, centenas de vezes maior do que os esforços anteriores. Ele mapeará nos mínimos detalhes um quarto de todo o céu e determinará a posição e brilho de 100 milhões de objetos celestes. Ele também determinará a distância de mais de um milhão de galáxias e cerca de 100 mil quasares. O total de informação gerado pelo levantamento será de 15 terabytes (um trilhão de bytes), que rivaliza com as informações armazenadas na Biblioteca do Congresso americano.

O coração do Sloan Survey é um telescópio de 2,5 metros no sul do Novo México, contendo uma das câmeras mais avançadas jamais produzida. Ela contém trinta delicados sensores de luz eletrônicos, chamados CCDs (*charge-coupled devices*), cada um com 12 centímetros quadrados, lacrados a vácuo. Cada sensor, que é resfriado até -80 graus C por nitrogênio líquido, contém 4 milhões de elementos de imagem. Toda a luz coletada pelo telescópio pode, portanto, ser digitalizada instantaneamente pelos CCDs e, em seguida, jogada diretamente num computador para ser processada. Por menos de 20 milhões de dólares, o levantamento cria um quadro surpreendente do universo a um centésimo do custo do telescópio espacial Hubble.

O levantamento, depois, coloca alguns destes dados digitalizados na internet, onde astrônomos do mundo inteiro podem estudá-los atentamente. Deste modo, podemos também aproveitar o potencial intelectual dos cientistas internacionais. No passado, quase sempre, os cientistas do Terceiro Mundo não tinham acesso às informações mais recentes obtidas com os telescópios e às revistas mais atualizadas. Isto é um tremendo desperdício de talento científico. Agora, graças à internet, eles podem descarregar os dados dos levantamentos celestes, ler artigos quando aparecem na internet e também publicar os seus na rede, à velocidade da luz.

O Sloan Survey já está mudando o modo como se faz astronomia, com novos resultados baseados em análises de centenas de milhares de galáxias, que teriam

sido proibitivos poucos anos atrás. Por exemplo, em maio de 2003, uma equipe de cientistas da Espanha, da Alemanha e dos Estados Unidos anunciou que havia analisado 250 mil galáxias em busca de evidências da matéria escura. Deste número imenso, eles se concentraram em 3 mil galáxias com aglomerados estelares orbitando à sua volta. Com as leis do movimento de Newton para analisar o movimento desses satélites, eles calcularam a quantidade de matéria escura que deve rodear a galáxia central. Estes cientistas já descartaram uma teoria rival. (Uma teoria alternativa, proposta pela primeira vez em 1983, tentou explicar as órbitas anômalas de estrelas nas galáxias modificando as próprias leis de Newton. Talvez a matéria escura não existisse realmente, mas fosse devido a um erro nas leis de Newton. Os dados do levantamento colocaram em dúvida esta teoria.)

Em julho de 2003, outra equipe de cientistas da Alemanha e dos Estados Unidos anunciou ter analisado 120 mil galáxias próximas usando o Sloan Survey para destrinchar o relacionamento entre galáxias e os buracos negros dentro delas. A questão é: o que apareceu primeiro, o buraco negro ou a galáxia que o abriga? O resultado dessa pesquisa indica que as formações de galáxia e de buraco negro estão intimamente associadas, e que os dois provavelmente se formaram juntos. Ele mostrou que, das 120 mil galáxias analisadas no levantamento, um total de 20 mil continha buracos negros que continuavam crescendo (ao contrário do buraco negro na Via Láctea, que parece estar inativo). Os resultados mostram que galáxias que contêm buracos negros que ainda estão crescendo em tamanho são muito maiores do que a Via Láctea, e que eles crescem engolindo o gás relativamente frio da galáxia.

COMPENSANDO AS FLUTUAÇÕES TÉRMICAS

Outra forma pela qual os telescópios óticos têm sido revitalizados é pelo uso de lasers para compensar a distorção da atmosfera. As estrelas não piscam porque vibram; as estrelas piscam principalmente devido a minúsculas flutuações térmicas na atmosfera. Isto significa que, no espaço cósmico, distante da atmosfera, as estrelas brilham continuamente sobre os nossos astronautas. Embora este piscar seja o responsável por boa parte da beleza do céu noturno, para um astrônomo é um pesadelo, resultando em fotografias desfocadas de corpos celestes. (Quando criança, lembro de ver as fotografias borradas do planeta Marte, desejando que houvesse um modo de obter fotos cristalinas do planeta vermelho. Se fosse possível pelo menos eliminar as perturbações

atmosféricas, reorganizando os feixes de luz, eu pensava, talvez fosse possível solucionar o mistério da vida extraterrestre.)

Uma forma de compensar esta imagem embaçada é usar lasers e computadores de alta velocidade para eliminar a distorção. Este método usa a "ótica adaptativa", cujos pioneiros foram uma colega minha de Harvard, Claire Max, do Laboratório Nacional Lawrence Livermore, e outros, usando o enorme telescópio W. M. Keck, no Havaí (o maior do mundo), e também o telescópio Shane, menor, de 3 metros, no Observatório Lick, na Califórnia. Por exemplo, ao disparar um raio laser no espaço cósmico, pode-se medir minúsculas flutuações de temperatura na atmosfera. Esta informação é analisada por computador, que, em seguida, faz pequenos ajustes no espelho do telescópio, que compensam a distorção da luz estelar. Deste modo, pode-se eliminar mais ou menos a perturbação atmosférica.

Este método foi testado com sucesso em 1996 e, desde então, tem produzido imagens cristalinas de planetas, estrelas e galáxias. O sistema dispara luz de um laser de corante sintonizável com 28 watts de potência para o céu. O laser está fixo ao telescópio de 3 metros, cujos espelhos deformáveis estão ajustados para compensar a distorção atmosférica. A própria imagem é captada numa Câmera CCD e digitalizada. Com um modesto orçamento, este sistema obteve fotografias quase comparáveis às do telescópio espacial Hubble. Pode-se ver os detalhes delicados nos planetas exteriores e até espiar no coração de um quasar usando este método, que dá uma nova vida aos telescópios ópticos.

Este método também aumentou em dez vezes a resolução do telescópio Keck. O Observatório Keck, localizado no cume do vulcão adormecido Mauna Kea, no Havaí, quase 4.300 metros acima do nível do mar, consiste de telescópios gêmeos que pesam 270 toneladas cada um. Cada espelho, com 10 metros de diâmetro, é composto de 36 peças hexagonais, cada uma podendo ser manipulada independentemente por computador. Em 1999, um sistema óptico adaptativo foi instalado no Keck II, consistindo de um pequeno espelho deformável que pode mudar de forma 670 vezes por segundo. Este sistema já capturou a imagem de estrelas que orbitam em torno do buraco negro no centro da nossa galáxia, a superfície de Netuno e Titã (uma lua de Saturno) e até um planeta extrassolar que eclipsou a estrela mãe 153 anos-luz distante da Terra. A luz da estrela HD 209458 enfraqueceu exatamente conforme previsto, à medida que o planeta se movia diante da estrela.

UNINDO RADIOTELESCÓPIOS

Os radiotelescópios também foram revitalizados pela revolução da informática. No passado, os radiotelescópios eram limitados pelo tamanho de seu disco. Quanto maior o disco, mais sinais de rádio podiam ser captados do espaço e analisados. Entretanto, quanto maior o disco, mais caro ele se torna. Um jeito de superar este problema é unir vários discos para imitar a capacidade de captação de ondas de rádio de um super-radiotelescópio. (O maior radiotelescópio que se pode juntar na Terra tem o tamanho da própria Terra.) Tentativas anteriores de unir radiotelescópios na Alemanha, na Itália e nos Estados Unidos tiveram um sucesso parcial.

Um dos problemas deste método é que os sinais de todos os vários radiotelescópios devem combinar exatamente e, em seguida, serem colocados num computador. No passado, isto era proibitivamente difícil. Entretanto, com o advento da internet e dos computadores baratos de alta velocidade, os custos caíram consideravelmente. Hoje, criar radiotelescópios com o tamanho efetivo do planeta Terra não é mais uma fantasia.

Nos Estados Unidos, a aparelhagem mais avançada que emprega esta tecnologia de interferência é o VLBA (*very long baseline array*), um conjunto de dez antenas em diversos locais, inclusive o Novo México, Arizona, New Hampshire, Washington, Texas, as Ilhas Virgens e o Havaí. Cada estação VLBA contém um imenso disco de 25 metros de diâmetro que pesa 240 toneladas e tem a altura de um prédio de dez andares. Os sinais de rádio são cuidadosamente registrados em cada local numa fita, que, em seguida, é despachada para o Centro de Operações Socorro, no Novo México, onde são correlacionados e analisados. O sistema começou a funcionar em 1993, a um custo de 85 milhões de dólares.

A correlação dos dados destes dez locais cria um gigantesco e eficiente radiotelescópio com 8 mil quilômetros de largura e pode produzir algumas das imagens mais nítidas na Terra. É equivalente a estar em Nova York lendo um jornal em Los Angeles. O VLBA já produziu “filmes” de jatos cósmicos e explosões de supernovas e as medidas de distância mais precisas jamais tomadas de um objeto fora da Via Láctea.

No futuro, até telescópios ópticos poderão usar o poder da interferometria, embora isto seja bastante difícil devido aos comprimentos de onda curtos da luz. Existe um plano para trazer os dados ópticos dos dois telescópios no Observatório de Keck, no Havaí, e interferi-los, criando essencialmente um telescópio gigante muito maior do que cada um deles.

MEDINDO A DÉCIMA PRIMEIRA DIMENSÃO

Além da pesquisa em busca de matéria escura e buracos negros, o que mais intriga os físicos é a procura de dimensões superiores de espaço e tempo. Uma das tentativas mais ambiciosas de verificar a existência de um universo próximo foi feita na Universidade do Colorado, em Boulder. Os cientistas tentaram medir desvios da famosa lei do inverso do quadrado de Newton.

De acordo com a lei da gravitação de Newton, a força de atração entre dois corpos diminui com o quadrado da distância que os separa. Se você duplicar a distância da Terra até o Sol, a força da gravidade baixa para dois ao quadrado ou quatro. Isto, por sua vez, mede a dimensionalidade do espaço.

Até agora, a lei da gravitação de Newton é válida para distâncias cosmológicas que envolvem grandes aglomerados de galáxias. Mas ninguém testou a sua lei da gravidade de forma adequada em escalas de comprimento pequenas porque era proibitivamente difícil. Como a gravitação é uma força muito fraca, até a menor perturbação pode destruir o experimento. Até caminhões passando criam vibrações grandes o bastante para anular experimentos que tentam medir a gravidade entre dois objetos pequenos.

Os físicos no Colorado construíram um instrumento delicado, chamado ressonador de alta frequência, que foi capaz de testar a lei da gravidade a um décimo de milímetro, a primeira vez que se fez isto numa escala tão diminuta. O experimento consistia em dois tubos muito finos de tungstênio suspensos no vácuo. Um dos tubos vibrava a uma frequência de mil ciclos por segundo, parecendo mais ou menos um trampolim de mergulho vibrando. Os físicos, em seguida, procuraram vibrações que fossem transmitidas através do vácuo para o segundo tubo. O aparelho era tão sensível que poderia detectar movimentos no segundo tubo causados pela força de um bilionésimo do peso de um grão de areia. Se houvesse um desvio da lei da gravitação de Newton, então deveria ter havido ligeiras perturbações registradas no segundo tubo. Entretanto, depois de analisar as distâncias até 108 milionésimos de metro, os físicos não encontraram esse desvio. “Até agora, Newton mantém-se firme”,[24] disse C. D. Hoyle, da Universidade de Trento, Itália, que analisou o experimento para a revista *Nature*.

Tal resultado foi negativo, mas só aguçou o apetite de outros físicos que querem testar desvios da lei de Newton até o nível microscópico.

Outro experimento ainda está sendo planejado na Universidade Purdue. Os físicos de lá querem medir os desvios mínimos na gravitação de Newton, não no nível milimétrico, mas no nível atômico. Eles planejam fazer isto usando a nanotecnologia para medir a diferença entre níquel 58 e níquel 64. Estes dois isótopos têm propriedades elétricas e químicas idênticas, mas um isótopo tem

seis nêutrons a mais do que o outro. Em princípio, a única diferença entre eles é o seu peso.

Estes cientistas imaginam criar um mecanismo de Casimir, consistindo de dois conjuntos de placas neutras feitas com os dois isótopos. Normalmente, quando estas placas são mantidas perto uma da outra, nada acontece porque elas não têm carga. Mas, se forem colocadas extremamente próximas uma da outra, ocorre o efeito Casimir, e as duas placas são levemente atraídas, um efeito que foi medido em laboratório. Mas, como cada conjunto de placas paralelas é composto de isótopos diferentes de níquel, elas sofrerão uma atração um pouquinho diferente, dependendo da sua gravidade.

A fim de maximizar o efeito de Casimir, as placas precisam estar extremamente próximas. (O efeito é proporcional ao inverso da quarta potência da distância de separação. Portanto, o efeito aumenta rapidamente à medida que as placas se aproximam.) Os físicos de Purdue usarão a nanotecnologia para fazer placas separadas por distâncias atômicas. Eles usarão osciladores de torção microeletromecânicos de última geração para medir oscilações mínimas nas placas. Qualquer diferença entre o níquel 58 e o níquel 64 pode então ser atribuída à gravitação. Desta maneira, eles esperam medir desvios da lei de movimento de Newton até distâncias atômicas. Se encontrarem um desvio da famosa lei do inverso do quadrado de Newton com este aparelho engenhoso, isso pode indicar a presença de um universo de dimensão superior separado do nosso pelo tamanho de um átomo.

O GRANDE COLISOR DE HADRON

Mas o dispositivo que talvez resolva para sempre muitas destas questões é o LHC, agora próximo de sua conclusão, nos arredores de Genebra, na Suíça, no famoso laboratório nuclear CERN. Ao contrário de experimentos anteriores sobre estranhas formas de matéria que naturalmente ocorrem no nosso mundo, o LHC talvez tenha energia suficiente para criá-las no laboratório. O LHC será capaz de sondar distâncias mínimas, até 10^{-19} metros, ou 10 mil vezes menores do que um próton, e criar temperaturas nunca vistas desde o Big Bang. “Os físicos têm certeza de que a natureza tem truques na manga que precisam ser revelados nessas colisões – talvez uma partícula exótica chamada de bóson de Higgs, talvez a evidência de um efeito milagroso chamado supersimetria ou quem sabe algo inesperado que vai virar a física de partículas teórica de cabeça para baixo”,[25] escreve Chris Llewellyn Smith, ex-diretor geral do CERN e

agora presidente do University College, em Londres. O CERN já tem 7 mil usuários de seu equipamento, o que significa mais da metade de todos os físicos de partículas experimentais do planeta. E muitos estão diretamente envolvidos nos experimentos do LHC.

O LHC é uma poderosa máquina circular, com 27 quilômetros de diâmetro, grande o bastante para circundar completamente muitas cidades ao redor do mundo. O seu túnel é tão extenso que, na verdade, atravessa a fronteira franco-suíça. O LHC é tão caro que foi necessário um consórcio formado por várias nações europeias para construí-lo. Quando for ligado finalmente em 2007, ímãs potentes dispostos ao longo da tubulação circular forçarão um feixe de prótons a circular com energias cada vez maiores, até chegar a mais ou menos 14 trilhões de elétron-volts.

A máquina consiste de uma grande câmara de vácuo circular com imensos ímãs colocados estrategicamente ao longo da sua extensão para curvar o potente feixe num círculo. À medida que as partículas circulam na tubulação, é injetada energia na câmara, aumentando a velocidade dos prótons. Quando finalmente atinge o seu alvo, o feixe libera uma explosão titânica de radiação. Os fragmentos criados por esta colisão, em seguida, são fotografados por baterias de detectores para procurar evidências de novas partículas subatômicas exóticas.

O LHC é, na realidade, uma máquina gigantesca. Enquanto LIGO e LISA superam os limites dos avanços tecnológicos em termos de sensibilidade, o LHC é o suprassumo da pura força bruta. Seus ímãs potentes, que curvam o feixe de prótons num gracioso arco, geram um campo de 8,3 teslas, que é 160 mil vezes maior do que o campo magnético da Terra. Para gerar campos magnéticos tão monstruosos, os físicos forçam 12 mil amps de corrente elétrica numa série de espirais, que precisam ser resfriadas para -271 graus C, e perdem toda a resistência e tornam-se supercondutoras. No todo, ele tem 1.232 ímãs de 15 metros de comprimento cada, que são colocados ao longo de 85 por cento de toda a circunferência da máquina.

No túnel, os prótons são acelerados a 99,999999 por cento da velocidade da luz até atingirem um alvo, localizado em quatro lugares ao redor do tubo, criando portanto bilhões de colisões por segundo. Enormes detectores são colocados ali (o maior tem o tamanho de um prédio de seis andares) para analisar os fragmentos e caçar partículas subatômicas evasivas.

Conforme Smith mencionou antes, um dos objetivos do LHC é encontrar o evasivo bóson de Higgs, que é a última peça do Modelo Padrão que ainda não se conseguiu capturar. É importante porque esta partícula é responsável pela quebra de simetria espontânea nas teorias de partículas e dá origem às massas do mundo quântico. Estimativas quanto à massa do bóson de Higgs colocam-no em algum

ponto entre 115 e 200 bilhões de elétron-volts (o próton, ao contrário, pesa cerca de 1 bilhão de elétron-volts).[26] (O Tevatron, uma máquina bem menor, localizada no Fermilab, nos arredores de Chicago, pode, na verdade, ser o primeiro acelerador a capturar o bóson de Higgs se a massa da partícula não for muito alta. Em princípio, o Tevatron talvez produza até 10 mil bósons de Higgs se operar conforme planejado. O LHC, entretanto, irá gerar partículas com sete vezes mais energia. Com 14 trilhões de elétron-volts para brincar, é possível conceber que o LHC se torne uma "fábrica" de bósons de Higgs, criando milhões deles nas suas colisões de prótons.)

Outro objetivo do LHC é criar condições não vistas desde o próprio Big Bang. Em particular, os físicos acreditam que o Big Bang originalmente consistiu de uma coleção variada de quarks e glúons extremamente quentes, chamada de plasma de quarks e glúons. O LHC será capaz de produzir este tipo de plasma de quarks e glúons que dominou o universo nos primeiros 10 microssegundos da sua existência. No LHC, pode-se colidir núcleos de chumbo com uma energia de 1,1 trilhão de elétron-volts. Com uma colisão tão colossal, os quatrocentos prótons e nêutrons podem "derreter" e liberar os quarks neste plasma quente. Deste modo, a cosmologia talvez se torne pouco a pouco uma ciência menos de observação e mais de experimentação, com experimentos precisos sobre plamas de quarks e glúons sendo feitos bem ali no laboratório.

Existe também a esperança de que o LHC possa encontrar miniburacos negros entre os fragmentos criados pela colisão de prótons uns contra os outros a uma energia fantástica, conforme mencionado no Capítulo 7. Normalmente, a criação de buracos negros quânticos deveria ocorrer na energia de Planck, que está um quatrilhão de vezes além da energia do LHC. Mas, se existe um universo paralelo dentro de um milímetro do nosso universo, isto reduz a energia na qual os efeitos gravitacionais quânticos se tornam mensuráveis, colocando os miniburacos negros ao alcance do LHC.

E, por fim, ainda existe a esperança de que o LHC seja capaz de encontrar evidências da supersimetria, o que seria uma conquista histórica da física de partículas. Acredita-se que estas partículas sejam parceiras das partículas comuns que vemos na natureza. Embora a teoria das cordas e a supersimetria prevejam que cada partícula subatômica tem um "gêmeo" com *spin* diferente, a supersimetria nunca foi observada na natureza, provavelmente porque nossas máquinas não são bastante potentes para detectá-la.

A existência de superpartículas ajudaria a responder a duas questões importunas. Primeira, a teoria das cordas está correta? Embora seja dificílimo detectar cordas diretamente, talvez seja possível detectar oitavas mais baixas ou ressonâncias de uma teoria das cordas. Se as partículas forem descobertas, isso

ajudaria muito no sentido de dar à teoria das cordas justificativas experimentais (embora continuasse não sendo prova direta da sua existência.)

Segundo, ela daria talvez o candidato mais plausível para a matéria escura. Se a matéria escura consiste em partículas subatômicas, elas devem ser estáveis e de carga neutra (de outra forma seriam visíveis) e devem interagir gravitacionalmente. Todas as três propriedades podem ser encontradas entre as partículas previstas pela teoria das cordas.

O LHC, que será o acelerador de partículas mais potente quando estiver finalmente funcionando, é, na verdade, uma segunda opção para a maioria dos físicos. Na década de 1980, o presidente Ronald Reagan aprovou o Superconducting Supercollider (SSC), uma máquina monstruosa com 80 quilômetros de circunferência que seria construída nos arredores de Dallas, no Texas; ela teria deixado o LHC acanhado. Enquanto o LHC é capaz de produzir colisões de partículas com 14 trilhões de elétron-volts de energia, o SSC foi projetado para produzir colisões com 40 trilhões de elétron-volts. O projeto foi aprovado inicialmente, mas, no final, o Congresso dos Estados Unidos cancelou-o. Foi um tremendo golpe na física de altas energias e atrasou o setor por toda uma geração.

Basicamente, o debate era sobre os 11 bilhões de dólares do custo da máquina e prioridades científicas mais importantes. A comunidade científica em si ficou bastante dividida no caso do SSC, com alguns físicos afirmando que o SSC poderia esgotar os fundos das suas próprias pesquisas. A controvérsia ficou tão acalorada que até o *New York Times* escreveu um editorial crítico sobre o risco de que a “grande ciência” asfixiasse a “pequena ciência”. (Estes argumentos eram enganosos, visto que o orçamento para o SSC viria de outra fonte, e não a do orçamento para a pequena ciência. O verdadeiro concorrente para os fundos era a Estação Espacial, que muitos cientistas acham um verdadeiro desperdício de dinheiro.)

Mas, em retrospectiva, a controvérsia era também a respeito de aprender a falar com o público numa língua que ele pudesse compreender. Em certo sentido, o mundo da física estava acostumado a ter os seus monstruosos colisores de átomos aprovados pelo Congresso porque os russos também estavam construindo os deles. Os russos, na verdade, estavam construindo o seu acelerador UNK para competir com o SSC. A honra e o prestígio nacional estavam em jogo. Mas a União Soviética se dissolveu, sua máquina foi cancelada e os ventos gradualmente sumiram das velas do programa SSC.[27]

ACELERADORES DE MESA

Com o LHC, os físicos estão pouco a pouco aproximando-se do limite superior de energia atingível com a atual geração de aceleradores, que fazem pequenas muitas cidades modernas e custam dezenas de bilhões de dólares. São tão imensos que apenas grandes consórcios de nações podem custeá-los. Novas ideias e princípios são necessários se queremos superar as barreiras que os aceleradores convencionais enfrentam. O santo graal da física das partículas é criar um acelerador "de mesa" capaz de criar feixes com bilhões de elétron-volts de energia a uma fração do tamanho e do custo de aceleradores convencionais.

Para compreender o problema, imagine uma corrida de revezamento, em que os competidores são distribuídos ao redor de uma pista circular muito grande. Eles se revezam carregando um bastão enquanto correm pela pista. Agora, imagine que todas as vezes que o bastão troca de mão, os competidores recebem uma explosão extra de energia, de modo que eles correm sucessivamente mais rápido ao longo da pista.

Isto é semelhante a um acelerador de partículas, em que o bastão é um feixe de partículas subatômicas movendo-se ao redor da pista circular. Sempre que passa de um competidor para outro, o feixe recebe uma injeção de energia de radiofrequência (RF), acelerando-o a velocidades cada vez maiores. É assim que os aceleradores de partículas foram construídos na última metade do século. O problema dos aceleradores de partículas convencionais é que estamos atingindo o limite da energia de RF que pode ser usada para impulsionar o acelerador.

Para solucionar esse problema exasperante, os cientistas estão experimentando modos radicalmente diferentes de bombear energia para o feixe, tais como raios laser potentes, que estão aumentando de potência exponencialmente. Uma das vantagens da luz laser é que ela é "coerente" – isto é, todas as ondas de luz vibram em perfeito uníssono, tornando possível criar feixes potentíssimos. Hoje, os raios laser podem gerar explosões de energia transportando trilhões de watts (terrawatts) de potência por um breve período de tempo. (Em comparação, uma usina nuclear é capaz de gerar apenas um insignificante bilhão de watts de potência, mas a uma velocidade constante.) Os lasers que geram até mil trilhões de watts (um quatrilhão de watts ou um petawatt) estão, agora, se tornando disponíveis.

Os aceleradores a laser funcionam de acordo com o seguinte princípio: a luz laser é quente o bastante para criar um gás de plasma (um conjunto de átomos ionizados), que, em seguida, move-se em oscilações como ondas em velocidades altas, como uma onda de maré. Então um feixe de partículas subatômicas "surfa" na espuma criada por esta onda de plasma. Ao injetar mais energia no laser, a

onda de plasma viaja a uma velocidade maior, aumentando a energia do feixe de partícula que surfa nela. Recentemente, ao bombardear um objeto sólido com laser de 50 terrawatt, os cientistas do Rutherford Appleton Laboratory, na Inglaterra, produziram um feixe de prótons que saiu do alvo transportando até 400 milhões de elétron-volts (MeV) de energia num feixe colimado. Na École Polytechnique, em Paris, os físicos aceleraram elétrons a 200 MeV pela distância de um milímetro.

Os aceleradores a laser criados até agora têm sido pequenos e não muito potentes. Mas suponha, por um momento, que este acelerador pudesse ter a sua potência aumentada de modo a operar não apenas sobre um milímetro, mas por um metro inteiro. Então, ele seria capaz de acelerar nêutrons a 200 giga elétron-volts por uma distância de um metro, satisfazendo o objetivo de um acelerador de mesa. Outro marco foi alcançado em 2001, quando os físicos do SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) conseguiram acelerar elétrons por uma distância de 1,4 metro. Em vez de usar um raio laser, eles criaram uma onda de plasma injetando um feixe de partículas carregadas. Embora a energia obtida fosse baixa, demonstrou-se que as ondas de plasma podem acelerar partículas por um metro de distância.

O progresso nesta promissora área de pesquisa é extremamente rápido: a energia obtida por estes aceleradores está aumentado dez vezes a cada cinco anos. Neste ritmo, um protótipo de acelerador de mesa talvez esteja ao nosso alcance. Se bem-sucedido, pode fazer o LHC parecer o último dos dinossauros. Apesar de promissor, existem ainda, é claro, muitos obstáculos que esse acelerador de mesa terá de enfrentar. Como um surfista que “cai da prancha” em cima de uma onda traiçoeira no mar, sustentar o feixe de modo que ele surfe adequadamente na onda de plasma é difícil (os problemas incluem focalizar o feixe e manter a sua estabilidade e intensidade). Mas nenhum deles parece insuperável.

O FUTURO

Existem algumas tentativas de longo prazo para provar a teoria das cordas. Edward Witten sustenta a esperança de que, no instante do Big Bang, o universo expandiu-se tão rapidamente que talvez uma corda tenha se expandido também, deixando uma enorme corda de proporções astronômicas à deriva no espaço. Ele reflete: “Embora um tanto fantasioso, este é o meu cenário preferido para confirmar a teoria das cordas, visto que nada resolveria a questão de forma tão

drástica quanto ver uma corda num telescópio.”[28]

Brian Greene relaciona cinco exemplos de dados experimentais que poderiam confirmar a teoria das cordas ou pelo menos lhe dar credibilidade:[29]

1. A minúscula massa dos evasivos e fantasmagóricos neutrinos poderia ser experimentalmente determinada, e a teoria das cordas a explicaria.
2. Pequenas violações do Modelo Padrão poderiam ser encontradas infringindo a física das partículas pontuais, como os decaimentos de certas partículas subatômicas.
3. Novas forças de longo alcance (além da gravitação e do eletromagnetismo) poderiam ser encontradas experimentalmente, indicando uma certa escolha de uma variedade de Calabi-Yau.
4. Partículas de matéria escura poderiam ser encontradas no laboratório e comparadas com previsões da teoria das cordas.
5. A teoria das cordas talvez fosse capaz de calcular a quantidade de energia escura no universo.

O que eu acho é que a confirmação da teoria das cordas poderia vir inteiramente da matemática pura, e não de experimentos. Visto que se supõe que a teoria das cordas é uma teoria de tudo, ela seria uma teoria de energias cotidianas assim como das cósmicas. Por conseguinte, se pudermos finalmente solucionar de todo a teoria, deveremos ser capazes de calcular as propriedades de objetos comuns, não apenas dos objetos exóticos encontrados no espaço exterior. Por exemplo, se a teoria das cordas pudesse calcular as massas do próton, do nêutron e do elétron a partir de primeiros princípios, seria um feito de primeira grandeza. Em todos os modelos da física (exceto a teoria das cordas), as massas destas partículas familiares são colocadas à mão. Não precisamos de um LHC, de certo modo, para confirmar a teoria, visto que já sabemos as massas de várias partículas subatômicas e todas deveriam ser determinadas pela teoria das cordas sem nenhum parâmetro ajustável.

Como disse Einstein: “Estou convencido de que podemos descobrir com construções puramente matemáticas os conceitos e as leis... que dão a chave para se compreender os fenômenos naturais. A experiência pode sugerir os conceitos matemáticos apropriados, mas eles, com toda a certeza, não podem ser deduzidos a partir dela... Em certo sentido, portanto, acredito que o pensamento puro é capaz de captar a realidade, como os antigos sonhavam.”[30]

Se for verdade, então talvez a teoria M (ou seja lá que teoria finalmente nos leve a uma teoria quântica da gravitação) possibilite a jornada final para toda a

vida inteligente no universo, a fuga do nosso universo moribundo, daqui a trilhões e trilhões de anos, para um novo lar.

PARTE III

FUGA PARA O HIPERESPAÇO

CAPÍTULO DEZ

O FIM DE TUDO

> [Considere] a opinião sustentada pela maioria dos físicos, isto é, a de que o sol com todos os planetas com o tempo esfriarão demais para ter vida, a não ser que alguma grande massa de matéria se choque com o sol e assim o ressuscite – acreditando, como eu acredito, que o homem no futuro distante será uma criatura bem mais perfeita do que é agora, é insuportável pensar que ele e todos os outros seres conscientes estejam condenados à total aniquilação depois de um progresso tão lento e contínuo.
>
> – Charles Darwin

De acordo com a lenda nórdica, o dia do juízo final, ou Ragnarok, o Crepúsculo dos Deuses, virá acompanhado de convulsões cataclísmicas. A Midgard (Terra Média), assim como os céus, serão apanhados nas garras inexoráveis de uma geada congelante. Ventos cortantes, nevascas ofuscantes, terremotos arrasadores e a fome assolarão a terra, enquanto um sem-número de homens e mulheres perecem indefesos. Três desses invernos paralisarão a terra, sem trégua, enquanto lobos esfaimados devoram o sol e a lua, mergulhando o mundo na escuridão total. As estrelas do céu cairão, a terra tremerá e as montanhas se desintegrarão. Monstros ficarão à solta, quando o deus do caos, Loki, escapa, disseminando guerra, confusão e discórdia por toda a terra deserta.

Odin, o pai dos deuses, reunirá seus bravos guerreiros pela última vez em Valhalla para o conflito derradeiro. No final, à medida que os deuses vão morrendo, um por um, o deus do mal, Surtur, lançará fogo e enxofre pelas ventas, criando um inferno gigantesco que engolirá o céu e a terra. À medida que o universo inteiro mergulha nas labaredas, a terra afunda nos oceanos e o próprio tempo para.

Mas, das cinzas, agita-se um novo começo. Uma nova terra, diferente da antiga, pouco a pouco se ergue do mar, e novos frutos e plantas exóticas brotam copiosamente do solo fértil, dando origem a uma nova raça de homens.

A lenda Viking de um congelamento gigantesco seguido de labaredas e uma batalha final é uma triste fábula para o fim do mundo. Nas mitologias do mundo todo, encontram-se temas semelhantes. O fim do mundo vem acompanhado de grandes catástrofes climáticas, em geral, um grande incêndio, terremotos ou nevascas, seguidas da derradeira batalha entre o bem e o mal. Mas existe também uma mensagem de esperança. Das cinzas vem a renovação.

Os cientistas, diante das frias leis da física, devem enfrentar agora temas semelhantes. Dados complexos, em vez de mitologia sussurrada ao redor da fogueira, nos acampamentos, ditam como os cientistas veem a morte do universo. Mas temas semelhantes talvez prevaleçam no mundo científico. Entre as soluções das equações de Einstein vemos também possíveis futuros envolvendo frios congelantes, incêndios, catástrofes e um fim para o universo. Mas haverá um renascimento final?

De acordo com a imagem que vem surgindo do satélite WMAP, uma misteriosa força de antigravidade está acelerando a expansão do universo. Se ela continuar por bilhões ou trilhões de anos, o universo chegará inevitavelmente a um grande congelamento parecido com a nevasca que previu o crepúsculo dos deuses, acabando com a vida como a conhecemos. Esta força de antigravidade que afasta o universo é proporcional ao volume do universo. Assim, quanto maior o universo ficar, mais antigravidade haverá para afastar as galáxias, o que, por sua vez, aumentará o volume do universo. Este ciclo vicioso se repete infinitamente, até o universo entrar num modo de fuga e crescer exponencialmente rápido.

No final, isto significará que 36 galáxias do grupo local de galáxias formarão todo o universo visível, à medida que bilhões de galáxias vizinhas passam velozes pelo nosso horizonte de eventos. Com o espaço entre as galáxias expandindo-se mais rápido do que a velocidade da luz, o universo será terrivelmente solitário. As temperaturas baixarão à medida que a energia remanescente se espalha cada vez mais fraca pelo espaço. Com as temperaturas descendo próximas do zero absoluto, as espécies inteligentes terão de enfrentar o seu destino final: morrer congeladas.

AS TRÊS LEIS DA TERMODINÂMICA

Se o mundo inteiro é um palco, como disse Shakespeare, então deve haver um Terceiro Ato. No Ato I, tivemos o Big Bang e o surgimento da vida e da consciência na Terra. No Ato II, talvez vivamos para explorar as estrelas e galáxias. Finalmente, no Ato III, enfrentaremos a derradeira morte do universo no grande congelamento.

Basicamente, achamos que o roteiro deve obedecer às leis da termodinâmica. No século XIX, os físicos formularam as três leis da termodinâmica que governam a física do calor e começaram a pensar na possibilidade da inevitável morte do universo. Em 1854, o grande físico alemão Hermann von Helmholtz

percebeu que as leis da termodinâmica podiam ser aplicadas a todo o universo, o que significa que tudo a nossa volta, inclusive as estrelas e galáxias, acabariam tendo de se esgotar.

A primeira lei diz que a quantidade total de matéria e energia é conservada.[1] Embora energia e matéria possam se transformar uma na outra (por meio da famosa equação de Einstein: $E = mc^2$), a quantidade total de matéria e energia não pode ser criada ou destruída.

A segunda lei é a mais misteriosa e profunda. Ela diz que a quantidade total de entropia (caos ou desordem) no universo aumenta sempre. Em outras palavras, tudo deve acabar envelhecendo e morrendo. A queimada de florestas, a ferrugem das máquinas, a queda de impérios e o envelhecimento do corpo humano, tudo representa o aumento de entropia no universo. É fácil, por exemplo, queimar um pedaço de papel. Isto representa um aumento no caos total. Entretanto, é impossível fazer a fumaça voltar a ser papel. (Pode-se fazer a entropia diminuir acrescentando-se trabalho mecânico, como num refrigerador, mas apenas numa vizinhança pequena; a entropia total para o sistema inteiro – o refrigerador mais tudo que o cerca – sempre aumenta.)

Arthur Eddington disse certa vez a respeito da segunda lei: “A lei que diz que a entropia aumenta sempre – a Segunda Lei da Termodinâmica – ocupa, eu penso, a suprema posição entre as leis da Natureza... Se constatarem que sua teoria é contrária à Segunda Lei da Termodinâmica, não lhe posso dar esperanças; não há nada a fazer a não ser mergulhar na mais profunda humilhação.”[2]

(A princípio, é como se a existência de formas de vida complexas na Terra infringisse a segunda lei. Parece extraordinário que do caos dos primórdios da Terra emergisse uma incrível diversidade de intrincadas formas de vida, até abrigando inteligência e consciência, reduzindo a entropia. Há quem entenda este milagre como a mão de um criador benevolente. Mas lembre-se de que a vida é movida pelas leis naturais da evolução, e que a entropia total continua aumentando, porque a energia adicional que abastece de combustível a vida está constantemente sendo suprida pelo Sol. Se incluirmos o Sol e a Terra, a entropia total continua crescendo.)

A terceira lei diz que nenhum refrigerador pode chegar ao zero absoluto. Pode-se chegar a uma fração mínima de grau acima do zero absoluto, mas você jamais chega a um estado de movimento zero. (E, se incorporarmos o princípio quântico, isto sugere que as moléculas terão sempre uma pequena quantidade de energia, visto que energia zero implica conhecer a localização e velocidade exatas de cada molécula, o que infringiria o princípio da incerteza.)

Se a segunda lei se aplica ao universo inteiro, isso quer dizer que o universo vai acabar parando de funcionar. As estrelas esgotarão o seu combustível nuclear, as galáxias cessarão de iluminar nossos céus e o universo ficará como uma coleção de estrelas anãs, estrelas de nêutron e buracos negros mortos. O universo mergulhará na escuridão eterna.

Alguns cosmólogos tentaram fugir desta "morte por falta de calor" recorrendo a um universo em oscilação. A entropia aumentaria continuamente à medida que o universo se expandisse e, no final, se contraísse. Mas, depois da grande implosão, não está claro o que seria da entropia no universo. Há quem prefira pensar que talvez o universo possa se repetir exatamente no próximo ciclo. Mais realista é a possibilidade de que a entropia seja transportada para o ciclo seguinte, o que significa que o tempo de vida do universo aumentaria gradualmente a cada ciclo. Mas não importa como se veja a questão, o universo oscilante, como os universos abertos e fechados, no final, resultará na destruição de toda a vida inteligente.

A GRANDE IMPLOSÃO

Uma das primeiras tentativas de usar a física para explicar o fim do universo foi um artigo escrito em 1969 por *Sir* Martin Rees, com o título "O Colapso do Universo: Um Estudo Escatológico".[3] Naquela época, o valor de Ômega ainda era bastante desconhecido, portanto ele supôs que era de dois, o que significa que o universo acabaria parando de se expandir e morrendo numa grande implosão, e não num grande congelamento.

Ele calculou que a expansão, do universo se reduzirá até parar, quando as galáxias estiverem duas vezes mais distantes do que estão hoje, e quando a gravidade finalmente superar a expansão original do universo. O desvio para o vermelho que vemos no céu se tornará um desvio para o azul, à medida que as galáxias começarem a viajar na nossa direção.

Nesta versão, daqui a cerca de 50 bilhões de anos, eventos catastróficos ocorrerão, sinalizando os últimos estertores do universo moribundo. Cem milhões de anos antes da implosão final, as galáxias do universo, inclusive a nossa Via Láctea, começarão a colidir umas com as outras, fundindo-se no final. Curiosamente, Rees descobriu que estrelas individuais se dissolverão antes mesmo de começarem a colidir umas com as outras, por duas razões. Primeiro, a radiação das outras estrelas no céu ganhará energia à medida que o universo se contrair; assim, as estrelas ficarão banhadas pela luz causticante desviada para o

azul das outras estrelas. Segundo, a temperatura da radiação de fundo de microondas aumentará muitíssimo à proporção que a temperatura do universo subir vertiginosamente. A combinação desses dois efeitos criará temperaturas que excederão a temperatura superficial das estrelas, que absorverão o calor mais rápido do que conseguirão se livrar dele. Em outras palavras, as estrelas provavelmente irão se desintegrar e dispersar em nuvens de gás superquente.

A vida inteligente, nestas circunstâncias, perecerá inevitavelmente, ressecada pelo calor cósmico que jorra das estrelas e galáxias próximas. Não tem saída. Como Freeman Dyson escreveu: “Lamentavelmente, tenho de concordar que, neste caso, não podemos escapar da fritura. Por mais que nos enterremos na Terra para nos proteger da radiação de fundo desviada para o azul, só vamos adiar em alguns milhões de anos o nosso triste fim.”[4]

Se o universo está a caminho de uma grande implosão, então resta perguntar se o universo pode entrar em colapso e depois voltar a crescer como no universo oscilante. Este é o cenário adotado no romance *Tau Zero*, de Poul Anderson. Se o universo fosse newtoniano, isto poderia ser possível se houvesse suficiente movimento lateral à medida que as galáxias se comprimissem. Neste caso, as estrelas talvez não ficassem esmagadas num único ponto, apenas se tocando levemente no ponto de compressão máxima e em seguida se afastando, sem colidir umas com as outras.

Mas o universo não é newtoniano; ele obedece às equações de Einstein. Roger Penrose e Stephen Hawking mostraram que, em circunstâncias muito gerais, um conjunto de galáxias em colapso será esmagado necessariamente até uma singularidade. (Isto porque o movimento lateral das galáxias contém energia e interage com a gravitação. Portanto, a atração gravitacional, na teoria de Einstein, é muito maior do que a encontrada na teoria de Newton para universos em colapso, e o universo colapsa num único ponto.)

OS 5 ESTÁGIOS DO UNIVERSO

Dados recentes do satélite WMAP, entretanto, favorecem o grande congelamento. Para analisar a história da vida do universo, cientistas como Fred Adams e Greg Laughlin, da Universidade de Michigan, tentaram dividir a idade do universo em cinco estágios distintos. Visto que estamos discutindo escalas de tempo realmente astronômicas, adotaremos uma escala de tempo logarítmica. Assim, 10^{20} A questão que nos assombra é: pode a vida inteligente usar a sua engenhosidade para sobreviver em alguma forma ao longo destes estágios,

atravessando uma série de catástrofes naturais e até a morte do universo?

ESTÁGIO 1: A ERA PRIMORDIAL

No primeiro estágio (entre -50 e 5, ou entre 10^{-50} e 10^{5} segundos), o universo sofreu uma rápida expansão, mas também um rápido resfriamento. À medida que resfriava, as várias forças, que antes estavam unidas numa “superforça” mestre, gradualmente se quebraram, produzindo as quatro forças conhecidas de hoje. A gravidade se quebrou primeiro, depois a força nuclear forte e finalmente a força nuclear fraca. No princípio, o universo era opaco e o céu branco, visto que a luz era absorvida logo depois de criada. Mas 380 mil anos depois do Big Bang, o universo resfriou o bastante para que os átomos se formassem sem serem despedaçados pelo calor intenso. O céu ficou preto. A radiação de fundo de microondas data deste período.

Durante esta era, o hidrogênio primordial fundiu-se em hélio, criando a atual mistura de combustível estelar que se espalhou pelo universo. Neste estágio da evolução do universo, a vida que conhecemos era impossível. O calor era forte demais; qualquer DNA ou outra molécula autocatalítica que fosse formada teria explodido com as colisões aleatórias com outros átomos, tornando impossível a existência dos elementos químicos estáveis da vida.

ESTÁGIO 2: A ERA ESTELÍFERA

Hoje, vivemos no estágio 2 (entre 6 e 14, ou entre 10^{6} e 10^{14} segundos), quando o gás hidrogênio foi comprimido e as estrelas se incendiaram, iluminando os céus. Nesta era, encontramos estrelas ricas em hidrogênio que resplandecem por bilhões de anos até esgotarem seus combustíveis nucleares. O telescópio espacial Hubble fotografou estrelas em todas as suas fases de evolução, inclusive estrelas jovens rodeadas por um disco espiralado de poeira e fragmentos de rocha, provavelmente o antecessor de planetas e de um sistema solar.

Neste estágio, as condições são ideais para a criação de DNA e da vida. Devido à quantidade enorme de estrelas no universo visível, os astrônomos tentaram dar argumentos plausíveis, baseados nas leis conhecidas da ciência, para o surgimento de vida inteligente em outros sistemas planetários. Mas qualquer forma de vida inteligente terá de enfrentar inúmeros obstáculos, muitos produzidos por ela mesma, como poluição ambiental, aquecimento global e armas nucleares. Supondo que a vida inteligente não tenha se destruído, então terá de enfrentar uma assombrosa série de desastres naturais, cada um deles

podendo terminar em catástrofe.

Numa escala de tempo de dezenas de milhares de anos, talvez haja uma era glacial, semelhante à que enterrou a América do Norte sob quase um quilômetro e meio de gelo, tornando impossível a civilização humana. Até dez mil anos atrás, os homens viviam como lobos em matilhas, alimentando-se de migalhas de comida em pequenas e isoladas tribos. Não havia acúmulo de conhecimentos ou ciência. Não existia a palavra escrita. A humanidade preocupava-se com um objetivo: a sobrevivência. Então, ainda não sabemos por que, a Era Glacial terminou, e os homens começaram a rápida ascensão das geleiras para as estrelas. Entretanto, este breve período interglacial não pode durar para sempre. Talvez em mais dez mil anos, outra Era Glacial cubra a maior parte do mundo. Os geólogos acreditam que os efeitos de variações mínimas na rotação da Terra sobre o seu eixo vão acabar se acumulando, fazendo com que os ventos fortes das calotas glaciais desçam para latitudes mais baixas, cobrindo a Terra de gelo. A essa altura, talvez tenhamos de nos enfiar debaixo da Terra para nos aquecer. A Terra já esteve um dia coberta de gelo. Isso pode acontecer de novo.

Numa escala de milhares a milhões de anos, devemos nos preparar para impactos de meteoros e cometas. Provavelmente o impacto de um meteoro ou cometa destruiu os dinossauros há 65 milhões de anos. Os cientistas acreditam que um objeto extraterrestre, talvez com menos de 16 quilômetros de diâmetro, afundou na Península do Yucatan, no México, abrindo uma cratera de 289 quilômetros de diâmetro e lançando fragmentos na atmosfera suficientes para interromper a passagem da luz solar e escurecer a Terra, causando temperaturas congelantes que mataram a vegetação e as formas de vida dominantes na Terra naquela época: os dinossauros. Em menos de um ano, os dinossauros e a maioria das espécies na Terra morreram.

A julgar pela frequência de impactos passados, existe uma probabilidade em 100 mil de nos próximos cinquenta anos o impacto de um asteroide causar um dano de extensão global. A probabilidade de um impacto considerável em milhões de anos provavelmente cresce para quase 100 por cento.

(No interior do sistema solar, onde reside a Terra, há talvez de 1.000 a 1.500 asteroides com um quilômetro de diâmetro ou mais, e um milhão de asteroides com 50 metros ou mais. Observações de asteroides jorram no Observatório de Astrofísica Smithsonian, em Cambridge, numa frequência de mais ou menos 15 mil por dia. Felizmente, apenas 42 asteroides conhecidos têm uma pequena, porém finita, probabilidade de colidir com a Terra. No passado, houve vários alarmes falsos com relação a estes asteroides, o mais famoso envolvendo o asteroide 1997XFII, com o qual os astrônomos enganaram-se dizendo que ele poderia acertar a Terra em trinta anos, o que gerou manchetes nos jornais do

mundo inteiro. Mas, ao examinarem com cuidado a órbita, de um asteroide chamado 1950DA, os cientistas calcularam haver apenas uma probabilidade mínima – mas não zero – de que ele possa atingir a Terra em 6 de março de 2880. Simulações por computador na Universidade da Califórnia, em Santa Cruz, mostram que, se este asteroide cair no oceano, vai gerar um tsunami de 120 metros de altura, fazendo submergir a maior parte das áreas costeiras em enchentes devastadoras.)[5]

Numa escala de bilhões de anos, temos de nos preocupar com o Sol engolindo a Terra. O Sol já está 30 por cento mais quente hoje do que era na sua infância. Estudos com computador mostraram que em 3,5 bilhões de anos o Sol será 40 por cento mais brilhante do que é hoje, o que significa que a Terra vai ficar gradualmente mais quente. O Sol parecerá maior e maior no céu diurno, até ocupar a maior parte do céu de horizonte a horizonte. A curto prazo, os seres vivos, tentando desesperadamente escapar do calor escaldante do Sol, talvez sejam obrigados a voltar para os oceanos, invertendo a marcha histórica da evolução neste planeta. No final, os próprios oceanos ferverão, tornando a vida impossível. Em mais ou menos 5 bilhões de anos, o núcleo do Sol esgotará o seu suprimento de hidrogênio e se transformará numa estrela gigante vermelha. Algumas gigantes vermelhas são tão grandes que poderiam engolir Marte se estivessem localizadas na posição do nosso Sol. Entretanto, o nosso Sol provavelmente se expandirá apenas até o tamanho da órbita da Terra, devorando Mercúrio e Vênus e derretendo as montanhas da Terra. Portanto, é provável que a nossa Terra morra no fogo, e não no gelo, deixando um monte de cinzas queimadas orbitando o Sol.

Alguns físicos argumentaram que, antes que isto ocorra, devemos ser capazes de usar alguma tecnologia avançada para mover a Terra para uma órbita maior em torno do Sol, se não tivermos migrado da Terra para outros planetas em gigantescas arcas espaciais. “Desde que as pessoas se tornem mais espertas mais rápido do que o Sol fica mais brilhante, a Terra deverá se dar bem”,[6] observa o astrônomo e escritor Ken Croswell.

Os cientistas sugeriram várias maneiras de tirar a Terra da sua órbita atual em torno do Sol. Uma forma simples seria desviar com cuidado uma série de asteroides do cinturão de asteroides de modo que eles girem rapidamente em torno da Terra. Este efeito atiradeira daria um impulso à órbita da Terra, aumentando a sua distância do Sol. Cada impulso moveria apenas incrementalmente, mas haveria bastante tempo para desviar centenas de asteroides para realizar esta proeza. “Nos vários bilhões de anos antes que o Sol inche numa gigante vermelha, nossos descendentes poderiam laçar uma estrela

de passagem para uma órbita em torno do Sol, em seguida jogar a Terra da sua órbita solar para uma órbita em torno da nova estrela”, acrescenta Croswell.[7]

Nosso Sol sofrerá um destino diferente do da Terra; ele morrerá congelado, e não estorricado. No final, depois de passar 700 milhões de anos queimando hélio como uma gigante vermelha, o Sol esgotará quase todo o seu combustível nuclear, e a gravidade o comprimirá numa anã branca mais ou menos do tamanho da Terra. Nosso Sol é pequeno demais para sofrer a catástrofe chamada de supernova e virar um buraco negro. Depois que o nosso Sol virar uma estrela anã branca, ele acabará resfriando, emitindo uma leve cor vermelha, depois marrom e finalmente preta. Ele ficará vagando no vazio cósmico como um pedaço morto de cinza nuclear. O futuro de quase todos os átomos que vemos a nossa volta, inclusive os átomos de nossos corpos e de nossos entes queridos, é acabar em cinzas frias orbitando uma estrela anã negra. Como esta estrela anã pesará apenas 0,55 massas solares, o que restar da Terra irá se acomodar numa órbita cerca de 70 por cento mais distante do que está hoje.[8]

Nesta escala, vemos que o florescer de plantas e animais sobre a Terra vai durar meros bilhões de anos (e hoje já estamos no meio do caminho desta era dourada). “A Mãe Natureza não foi destinada a nos fazer felizes”, diz o astrônomo Donald Brownlee.[9] Comparado com o tempo de vida do universo inteiro, o desabrochar da vida dura apenas uma fração mínima de tempo.

ESTÁGIO 3: A ERA DEGENERADA

No estágio 3 (entre 15 e 39), a energia das estrelas no universo finalmente se esgotará. O processo aparentemente eterno de queima de hidrogênio, e em seguida de hélio, finalmente para, deixando para trás nacos inertes de matéria nuclear morta na forma de estrelas anãs, estrelas de nêutrons e buracos negros. As estrelas no céu não brilham mais; o universo gradualmente mergulha na escuridão.

As temperaturas cairão dramaticamente no estágio3, à medida que as estrelas perdem seus motores nucleares. Qualquer planeta circulando ao redor de uma estrela morta irá congelar. Se assumirmos que a Terra ainda está intacta, o remanescente de sua superfície se tornará numa camada de gelo congelada, forçando as formas de vida inteligente procurarem um novo lar.

Enquanto estrelas gigantes podem durar uns poucos milhões de anos, e estrelas que queimam hidrogênio, como o nosso Sol, duram bilhões de anos, as minúsculas estrelas anãs vermelhas podem, na verdade, queimar por trilhões de anos. É por isto que a tentativa de transferir a órbita da Terra para girar em torno

de uma estrela anã vermelha, na teoria, faz sentido. A vizinha estelar mais próxima da Terra, Promixa Centauri, é uma estrela anã vermelha que está apenas a 4,3 anos-luz da Terra. Nossa vizinha mais próxima pesa apenas 15 por cento da massa solar e sua luz é quatrocentas vezes mais fraca do que a do Sol, portanto, qualquer planeta que a orbitasse teria de estar extremamente perto para se beneficiar da sua tênue luz. A Terra teria de orbitar esta estrela vinte vezes mais próxima do que está atualmente do Sol para receber a mesma quantidade de luz solar. Mas, uma vez em órbita ao redor de uma estrela anã vermelha, um planeta teria energia para durar trilhões de anos.

No final, as únicas estrelas que continuarão a queimar combustível nuclear serão as anãs vermelhas. Com o tempo, entretanto, até elas virarão negras. Numa centena de trilhões de anos, as anãs vermelhas remanescentes finalmente morrerão.

ESTÁGIO 4: A ERA DO BURACO NEGRO

No estágio 4 (entre 40 e 100), a única fonte de energia será a lenta evaporação de energia dos buracos negros. Como demonstraram Jacob Bekenstein e Stephen Hawking, os buracos negros não são realmente negros; na verdade, eles irradiam uma leve quantidade de energia, chamada evaporação. (Na prática, esta evaporação de buraco negro é pequena demais para ser observada experimentalmente, mas em longas escalas de tempo a evaporação acaba determinando o destino de um buraco negro.)

Os buracos negros em evaporação podem ter vários tempos de vida. Um miniburaco negro do tamanho de um próton poderia irradiar 10 bilhões de watts de potência durante toda a vida do sistema solar.[10] Um buraco negro pesando tanto quanto o Sol evaporaria em 10^{66} anos. Um buraco negro com o peso de um aglomerado de galáxias evaporaria em 10^{117} anos. Entretanto, à medida que um buraco negro se aproxima do final da sua vida, depois de lentamente evaporar radiação, ele de repente explode. É possível que a vida inteligente, como os sem-teto amontoados perto das brasas apagadas de fogueiras quase extintas, se congregue em torno do tênue calor emitido dos buracos negros em evaporação para extrair deles um calorzinho, até que eles evaporem.

ESTÁGIO 5: A ERA DA ESCURIDÃO

No estágio 5 (além de 101), entramos na era da escuridão do universo, quando todas as fontes de calor estão finalmente exauridas. Nesse estágio, o universo

vaga lentamente para a morte térmica à medida que a temperatura se aproxima do zero absoluto. Neste ponto, os próprios átomos quase param. Talvez até os prótons terão decaído, deixando um mar à deriva de fótons e uma sopa rala de partículas interagindo fracamente (neutrinos, elétrons e sua antipartícula, o pósitron). O universo pode consistir em um novo tipo de "átomo" chamado positronium, formado de elétrons e pósitrons que circulam em torno um do outro.

Alguns físicos especularam que estes "átomos" de elétrons e antielétrons poderiam ser capazes de formar novos blocos de construção para a vida inteligente nesta era escura. Entretanto, os obstáculos a esta ideia são enormes. Um átomo de positronium tem tamanho comparável ao de um átomo comum. Mas um átomo de positronium na era escura teria cerca de 10^{12} megaparsecs de diâmetro, milhões de vezes maior do que o universo que se pode observar hoje. Portanto, nesta era escura, embora estes "átomos" possam se formar, eles seriam do tamanho de um universo inteiro. Visto que o universo durante a era da escuridão terá se expandido para distâncias enormes, facilmente ele acomodaria estes átomos gigantescos de positronium. Mas, como esses átomos de positronium são muito grandes, isto significa que qualquer "química" envolvendo esses "átomos" teria escalas de tempo colossais, totalmente diferentes de qualquer coisa que conhecemos.

Como o cosmólogo Tony Rothman escreve: "E assim, finalmente, depois de 10^{117} anos, o cosmo consistirá de uns poucos elétrons e pósitrons trancados em suas órbitas pesadas, de neutrinos e fótons restantes do decaimento de bárions, prótons desgarrados remanescentes do aniquilamento de positronium e buracos negros. Pois isto também está escrito no Livro do Destino."[11]

PODE A INTELIGÊNCIA SOBREVIVER?

Diante das condições espantosas encontradas no final do grande congelamento, os cientistas debateram se alguma forma de vida inteligente poderia sobreviver. A princípio, parece não fazer sentido discutir vida inteligente que sobreviva ao estágio 5, quando as temperaturas caem a quase zero absoluto. Entretanto, existe uma discussão animada entre os físicos sobre se a vida inteligente poderá sobreviver.

O debate está centrado em duas questões fundamentais. A primeira é: seres inteligentes podem operar suas máquinas quando as temperaturas aproximam-se do zero absoluto? Pelas leis da termodinâmica, porque a energia flui de uma

temperatura mais alta para uma temperatura mais baixa, este movimento de energia pode ser usado para fazer trabalhos mecânicos úteis. Por exemplo, uma máquina térmica que conecte duas regiões em temperaturas diferentes pode produzir trabalho mecânico. Quanto maior a diferença de temperatura, maior a eficiência da máquina. Esta é a base das máquinas que acionaram a Revolução Industrial, como a máquina a vapor e a locomotiva. A princípio, parece impossível extrair qualquer trabalho de uma máquina térmica no estágio 5, já que todas as temperaturas são iguais.

A segunda pergunta: pode uma forma de vida inteligente enviar e receber informações? Segundo a teoria da informação, a menor unidade que pode ser enviada e recebida é proporcional à temperatura. Como a temperatura cai para perto do zero absoluto, a capacidade de processar informações também fica seriamente prejudicada. Os bits de informação que podem ser transmitidos à medida que o universo resfria terão de ser cada vez menores.

O físico Freeman Dyson e outros reanalisaram a física da vida inteligente sobrevivendo num universo moribundo. Será possível encontrar meios engenhosos, perguntam eles, para que a vida inteligente continue existindo, mesmo enquanto as temperaturas caem próximas do zero absoluto?

À medida que a temperatura começa a cair em todo o universo, no início talvez as criaturas tentem baixar a sua temperatura corporal usando a engenharia genética. Deste modo, elas poderiam usar com mais eficiência o suprimento de energia decrescente. Mas, no final, a temperatura do corpo chegará ao ponto de congelamento da água. A essa altura, os seres inteligentes talvez tenham de abandonar seus frágeis corpos de carne e osso e assumir corpos robóticos. Corpos mecânicos também precisam obedecer às leis da teoria da informação e da termodinâmica, o que torna a vida extremamente difícil, até para os robôs.

Mesmo que as criaturas inteligentes abandonem seus corpos robóticos e se transformem em pura consciência, ainda existe o problema do processamento de informação. À medida que as temperaturas continuam caindo, a única maneira de sobreviver será “pensar” mais devagar. Dyson conclui que uma forma de vida engenhosa ainda seria capaz de pensar por uma quantidade indefinida de tempo, ampliando o tempo exigido para o processamento de informação e também hibernando para conservar energia. Embora o tempo físico necessário para pensar e processar informações possa se estender por bilhões de anos, o “tempo subjetivo”, visto pelas próprias criaturas inteligentes, continuará sendo o mesmo. Elas jamais notarão a diferença. Elas continuarão sendo capazes de pensamentos profundos, mas somente numa escala de tempo muito, muito mais lenta. Dyson conclui, numa estranha, mas otimista, observação, que, desse modo, a vida inteligente será capaz de processar informações e “pensar” indefinidamente.

Processar um único pensamento pode levar trilhões de anos, mas, quanto ao “tempo subjetivo”, o ato de pensar se processará normalmente.

Mas, se as criaturas inteligentes pensarem mais devagar, talvez elas possam testemunhar as transições quânticas cósmicas que ocorram no universo. Normalmente, essas transições cósmicas, como a criação de universos bebês ou a transição para outro universo quântico, levam trilhões de anos e portanto são puramente teóricas. No estágio 5, entretanto, trilhões de anos no “tempo subjetivo” serão comprimidos e podem parecer apenas uns poucos segundos para essas criaturas; elas pensarão tão devagar que talvez vejam eventos quânticos bizarros acontecendo o tempo todo. Elas podem ver regularmente universos bolhas aparecendo de lugar nenhum ou saltos quânticos em universos alternados.

Mas à luz da recente descoberta de que o universo está acelerando, os físicos reexaminaram o trabalho de Dyson e acenderam um novo debate, chegando a conclusões opostas – a vida inteligente irá necessariamente morrer num universo em aceleração. Os físicos Lawrence Krauss e Glenn Starkman concluíram: “Bilhões de anos atrás, o universo era quente demais para existir vida. Daqui a inúmeros eons, ele se tornará tão frio e vazio que a vida, não importa o quanto seja engenhosa, perecerá.”[12]

No trabalho original de Dyson, ele supôs que a radiação de microondas, a 2,7 graus no universo, continuaria a cair indefinidamente, portanto os seres inteligentes poderiam extrair trabalho utilizável dessas mínimas diferenças de temperatura. Desde que a temperatura continuasse caindo, o trabalho utilizável poderia sempre ser extraído. Entretanto, Krauss e Starkman chamam a atenção para o fato de que, se o universo tem uma constante cosmológica, então as temperaturas não cairão para sempre, como Dyson supôs, mas acabarão chegando a um limite mais baixo, à temperatura de Gibbons-Hawking (cerca de 10^{-29} graus). Uma vez atingido este nível, a temperatura em todo o universo será a mesma, e daí os seres inteligentes não poderão extrair energia utilizável explorando as diferenças de temperatura. Quando o universo inteiro chegar a uma temperatura uniforme, todo o processamento de informações cessará.

(Na década de 1980, descobriu-se que certos sistemas quânticos, como o movimento Browniano num fluido, podem servir como a base de um computador, independentemente do frio exterior. Então, mesmo que as temperaturas desçam muito, estes computadores ainda podem computar usando cada vez menos energia. Foi uma boa notícia para Dyson. Mas havia uma dificuldade. O sistema precisava satisfazer a duas condições: tinha de permanecer em equilíbrio com o seu ambiente e não devia jamais descartar informações. Mas, se o universo se expande, o equilíbrio é impossível, porque a

radiação se dilui e seu comprimento de onda se estende. Um universo em aceleração muda rápido demais para o sistema chegar a um equilíbrio. E, segundo, a exigência de que ele jamais descarte informações significa que um ser inteligente jamais deve esquecer. No final, um ser inteligente, incapaz de se descartar de antigas lembranças, pode se ver revivendo essas lembranças repetidas vezes. “A eternidade seria uma prisão, e não um horizonte de criatividade e exploração, retrocedendo interminavelmente. Poderia ser o nirvana, mas isso seria vida?”, perguntam Krauss e Starkman.)[13]

Em resumo, vemos que, se a constante cosmológica está perto de zero, a vida inteligente pode “pensar” indefinidamente à medida que o universo resfria, hibernando e pensando mais devagar. Mas, num universo em aceleração como o nosso, isso é impossível. Toda a vida inteligente está fadada a perecer, de acordo com as leis da física.

Do ponto de vista dessa perspectiva cósmica, vemos portanto que as condições para a vida não passam de um fugaz episódio numa tapeçaria muito maior. Existe apenas uma minúscula janela onde as temperaturas são “exatamente certas” para sustentar a vida, nem muito quentes nem frias demais.

DEIXANDO O UNIVERSO

A morte pode ser definida como o derradeiro cessar de todo o processamento de informações. Qualquer espécie inteligente no universo, quando começa a compreender as leis fundamentais da física, será forçada a enfrentar a morte definitiva do universo e toda a vida inteligente que ele contiver.

Felizmente, há tempo suficiente para juntar energia para essa viagem e existem alternativas, como veremos no próximo capítulo. A questão que vamos explorar é: as leis da física permitem a nossa fuga para um universo paralelo?

CAPÍTULO ONZE

ESCAPANDO DO UNIVERSO

Nenhuma tecnologia suficientemente avançada se distingue da magia.
– Arthur C. Clarke

No romance *Eon*, o escritor de ficção científica Greg Bear conta uma angustiante história sobre a fuga de um mundo devastado para um universo paralelo. Um colossal e ameaçador asteroide vindo do espaço aproxima-se da Terra, causando pânico e histeria em massa. Entretanto, em vez de colidir com a Terra, ele estranhamente se acomoda numa órbita em torno do planeta. Equipes de cientistas são enviadas ao espaço para investigar. Mas, em vez de encontrar uma superfície desolada e sem vida, deparam com um asteroide que, na verdade, é oco; é uma imensa espaçonave abandonada por uma raça tecnológica superior. Dentro da nave deserta, a heroína do livro, uma física teórica chamada Patricia Vasquez, encontra sete vastas câmaras, entradas para mundos diferentes, com lagos, florestas, árvores, até cidades inteiras. Em seguida, ela se depara com enormes bibliotecas contendo a história completa deste estranho povo.

Pegando um livro antigo, ela vê que é *Tom Sawyer*, de Mark Twain, mas numa reedição de 2110. Ela percebe que o asteroide não vem de nenhuma civilização alienígena, mas da própria Terra, 1.300 anos no futuro. Ela entende a nauseante verdade: estes velhos registros falam de uma antiga guerra nuclear que eclodiu no passado distante, matando bilhões de pessoas, desencadeando um inverno nuclear que matou outros bilhões. Quando ela determina a data desta guerra nuclear, fica chocada ao descobrir que é dali a duas semanas! Ela está impotente para impedir a guerra inevitável que, em breve, consumirá todo o planeta, matando os seus entes queridos.

Assustada, ela localiza sua própria história pessoal nesses velhos registros e descobre que a sua futura pesquisa no espaço-tempo ajudará a estabelecer as bases para um enorme túnel no asteroide chamado o Caminho, que permitirá que as pessoas deixem o asteroide e entrem em outros universos. As suas teorias provaram que existe um número infinito de universos quânticos, representando todas as possíveis realidades. Além disso, suas teorias tornaram possível a construção de portais localizados ao longo do Caminho para entrar nestes universos, cada um com uma história alternativa diferente. Ela acaba entrando

no túnel, percorre o Caminho e encontra as pessoas que fugiram no asteroide, seus descendentes.

É um mundo estranho. Séculos antes, as pessoas abandonaram a forma estritamente humana e podem, agora, assumir várias aparências e corpos. Até gente que morreu faz tempo tem suas memórias e personalidades armazenadas em bancos de computador e podem ser trazidas de volta à vida. Elas podem ser ressuscitadas e descarregadas várias vezes em novos corpos. Implantes colocados nos corpos lhes dão acesso a informações quase infinitas. Embora este povo pudesse ter quase tudo que desejasse, nossa heroína fica triste e solitária neste paraíso tecnológico. Ela sente falta da família, do namorado, da *sua* Terra, de tudo o que foi destruído na guerra nuclear. Ela, no final, tem permissão para sondar os múltiplos universos ao longo do Caminho para descobrir uma Terra paralela onde a guerra nuclear foi evitada e seus entes queridos continuam vivos. Ela acaba encontrando um e pula para dentro dele. (Infelizmente, ela comete um pequeno erro matemático e vai dar num universo no qual o império egípcio não caiu. E passa o resto dos seus dias tentando sair desta Terra paralela para encontrar o seu verdadeiro lar.)

Apesar de o portal dimensional discutido em *Eon* ser puramente fictício, ele levanta uma questão interessante que nos diz respeito: é possível encontrar um porto seguro num universo paralelo, se as condições no nosso próprio universo se tornarem insuportáveis?

A desintegração final do nosso universo numa névoa sem vida de elétrons, neutrinos e fótons parece prever o destino de toda vida inteligente. Numa escala cósmica, vemos como a vida é frágil e transitória. A era na qual a vida pode florescer está concentrada numa faixa muito estreita, um período fugaz na vida das estrelas que iluminam o céu noturno. Parece impossível a vida continuar à medida que o universo envelhece e resfria. As leis da física e da termodinâmica são bastante claras: se a expansão do universo continuar acelerando num modo de fuga, a inteligência que conhecemos não pode basicamente sobreviver. Mas à medida que a temperatura do universo continua caindo ao longo dos eons, pode uma civilização avançada tentar se salvar? Dominando toda a sua tecnologia e a tecnologia de outras civilizações que possam existir no universo, ela pode escapar da inevitabilidade do grande congelamento?

Como a frequência em que os estágios do universo evoluem é medida em bilhões a trilhões de anos, há muito tempo para uma civilização inteligente e diligente tentar enfrentar estes desafios. Embora seja simples especulação imaginar que tipos de tecnologias uma civilização avançada é capaz de arquitetar para prolongar a sua existência, podemos usar as leis conhecidas da física para discutir o amplo leque de opções disponíveis para eles daqui a bilhões de anos. A

física não pode nos dizer que planos específicos uma civilização avançada vai adotar, mas poderia nos informar sobre a variedade de parâmetros para essa fuga.

Para um engenheiro, o principal problema em abandonar o universo é se teremos recursos suficientes para construir uma máquina capaz de realizar uma proeza tão difícil. Mas, para um físico, esse problema é outro: se as leis da física permitem a existência destas máquinas. Os físicos querem uma "prova de princípio" – queremos mostrar que se você tivesse uma tecnologia suficientemente avançada, uma fuga para outro universo seria possível de acordo com as leis da física. Se temos recursos suficientes é um detalhe prático, de menor importância, que deve ser deixado para civilizações daqui a bilhões de anos, quando enfrentarem o grande congelamento.

Segundo o astrônomo real *Sir* Martin Rees: "Buracos de minhoca, dimensões extra e computadores quânticos abrem cenários especulativos que poderiam finalmente transformar todo nosso universo num 'cosmos vivo'."[1]

CIVILIZAÇÕES DO TIPO I, II E III

Para compreender a tecnologia de civilizações milhares a milhões de anos à nossa frente, os físicos às vezes as classificam dependendo do seu consumo de energia e das leis da termodinâmica. Vasculhando os céus em busca de sinais de vida inteligente, os físicos não procuram homenzinhos verdes, mas civilizações com uma produção de energia daquelas do tipo I, II e III. A graduação foi introduzida pelo físico russo Nikolai Kardashev na década de 1960 para classificar os sinais de rádio vindos de possíveis civilizações no nosso espaço cósmico. Cada tipo de civilização emite uma forma característica de radiação que pode ser medida e catalogada. (Mesmo uma civilização avançada que tente ocultar a sua presença pode ser detectada por nossos instrumentos. Pela segunda lei da termodinâmica, qualquer civilização avançada criará entropia na forma de calor não aproveitado que vai inevitavelmente escapar à deriva no espaço cósmico. Mesmo que tentem mascarar a sua presença, é impossível esconder o tênue brilho criado pela sua entropia.)

Uma civilização do tipo I é aquela que controlou formas de energia planetária. Seu consumo de energia pode ser medido com precisão; por definição, ela será capaz de utilizar a quantidade inteira de energia solar que atinge o seu planeta ou 10^{16} watts. Com esta energia planetária, ela poderia controlar ou modificar o clima, mudar o curso de furacões ou construir cidades no oceano. Tais civilizações são verdadeiramente senhoras do seu planeta e criaram uma

civilização planetária.

Uma civilização do tipo II esgotou a energia de um único planeta e controlou a energia de uma estrela inteira ou aproximadamente 10^{26} watts. Ela é capaz de consumir toda a produção de energia da sua estrela e poderia, concebivelmente, controlar os clarões solares e acender outras estrelas.

Uma civilização do tipo III esgotou a energia de um único sistema solar e colonizou grandes porções da sua galáxia natal. Uma civilização assim é capaz de utilizar a energia de 10 bilhões de estrelas ou aproximadamente 10^{36} watts.

Cada tipo de civilização difere do tipo inferior logo abaixo por um fator de 10 bilhões. Portanto, uma civilização do tipo III, controlando a energia de bilhões de sistemas estelares, pode usar 10 bilhões de vezes a produção de energia de uma civilização do tipo II, que, por sua vez, controla 10 bilhões de vezes a produção de uma civilização do tipo I. Embora o abismo que separa estas civilizações possa parecer astronômico, é possível estimar o tempo necessário para uma civilização alcançar o tipo III. Suponha que uma civilização cresça a uma modesta taxa de 2 a 3 por cento na sua produção de energia anual. (Esta é uma hipótese plausível, visto que o crescimento econômico, que pode ser razoavelmente calculado, está diretamente relacionado com o consumo de energia. Quanto maior a economia, maior a sua demanda de energia. Visto que o crescimento do produto interno bruto, ou PIB, de muitas nações fica entre 1 a 2 por cento ao ano, podemos esperar que o seu consumo de energia cresça mais ou menos no mesmo ritmo.)

Nesta taxa modesta, podemos estimar que a nossa atual civilização esteja aproximadamente a 100-200 anos de alcançar o status do tipo I. Vamos levar cerca de 1 a 5 mil anos para chegar ao tipo II, e talvez 100 mil a 1 milhão anos para sermos do tipo III. Nessa escala, a nossa civilização hoje pode ser classificada como do tipo 0, porque obtemos a nossa energia de plantas mortas (petróleo e carvão). Mesmo controlar um furacão, que pode desencadear a energia de centenas de armas nucleares, está fora do alcance da nossa tecnologia.

Para descrever a nossa civilização atual, o astrônomo Carl Sagan era a favor de se criar gradações mais sutis entre os tipos de civilizações. As dos tipo I, II e III, como vimos, geram uma produção total de energia de aproximadamente 10^{16}, 10^{26} e 10^{36} watts, respectivamente. Sagan introduziu uma civilização tipo I.1, por exemplo, que gera 10^{17} watts de potência, uma civilização I.2, que gera 10^{18} watts de potência e daí por diante. Ao dividirmos cada tipo I em dez subtipos menores, podemos começar a classificar a nossa própria civilização – a uma incrível distância de ser realmente planetária. (Uma civilização do tipo 0,7 ainda é mil vezes menor do que a do tipo I, em termos de produção de energia.)

Embora a nossa civilização ainda seja bastante primitiva, já vemos sinais de que está ocorrendo uma transição. Quando leio as manchetes de jornais, vejo constantemente lembretes desta evolução histórica. De fato, sinto-me privilegiado por estar vivo para assistir a tudo isso:

- A internet é um sistema de telefonia emergente do tipo I. Ela tem a capacidade de se tornar a base de uma rede de comunicação planetária universal.
- A economia da sociedade do tipo I será dominada não por nações, mas por grandes blocos comerciais parecidos com a União Europeia, que se formou devido à concorrência com a NAFTA (os países da América do Norte).
- A língua da nossa sociedade do tipo I provavelmente será o inglês, que já é o segundo idioma dominante na Terra. Em muitos países do Terceiro Mundo hoje, as classes mais altas e com nível superior de educação tendem a falar tanto o inglês quanto a língua local. A população inteira de uma civilização do tipo I talvez seja bilíngue falando, assim, a língua local e uma língua planetária.[2]
- As nações, embora provavelmente continuem a existir de alguma forma nos próximos séculos, se tornarão menos importantes à medida que as barreiras comerciais caírem e o mundo se tornar mais interdependente do ponto de vista econômico. (As nações modernas, em parte, foram originalmente moldadas por capitalistas e por aqueles que queriam moeda, fronteiras, taxas e leis uniformes com as quais realizar os negócios. À medida que os próprios negócios se tornarem mais internacionais, as fronteiras nacionais deverão ser menos relevantes.) Nenhuma nação isolada tem poder suficiente para interromper esta marcha para uma civilização do tipo I.
- As guerras provavelmente sempre vão existir, mas a sua natureza vai mudar com o surgimento de uma classe média planetária mais interessada em turismo e no acúmulo de riquezas e recursos do que na conquista de outros povos e no controle de mercados ou áreas geográficas.
- A poluição será resolvida cada vez mais numa escala planetária. Efeito estufa, chuva ácida, queima de florestas tropicais e outros não respeitam fronteiras nacionais, e haverá pressão das nações vizinhas para que as entidades infratoras comecem a adotar regras mais aceitáveis de comportamento. Os problemas ambientais globais ajudarão a acelerar soluções globais.
- À medida que os recursos (como a pesca, a colheita de grãos e água) aos poucos se esgotarem devido ao cultivo e ao consumo excessivos, haverá

cada vez mais pressão para administrarmos os nossos recursos numa escala global ou enfrentaremos a fome e o colapso.

- As informações serão quase de graça, incentivando a sociedade a ser mais democrática, permitindo aos desprivilegiados ganharem uma nova voz e pressionarem as ditaduras.

Estas forças fogem ao controle de um só indivíduo ou nação. A internet não pode ser declarada ilegal. De fato, qualquer atitude nesse sentido será recebida mais com risos do que com gestos de horror, porque a internet é o caminho para a prosperidade econômica e para ciência, assim como para a cultura e a diversão.

Mas a transição do tipo 0 para o tipo I é também a mais arriscada, porque ainda demonstramos a selvageria que caracterizou a nossa ascensão da floresta. Em certo sentido, nossa civilização avança contra o tempo. Por um lado, a marcha em direção a uma civilização planetária do tipo I pode nos prometer uma era de paz e prosperidade sem paralelos. Por outro lado, as forças da entropia (o efeito estufa, a poluição, a guerra nuclear, o fundamentalismo, as doenças) ainda podem nos destruir. *Sir* Martin Rees vê tais ameaças, assim como aquelas originadas no terrorismo, nos germes produzidos pela bioengenharia e outros pesadelos tecnológicos, como alguns dos maiores desafios que a humanidade enfrenta. É deprimente eles nos dar apenas 50 por cento de probabilidade de vencermos este desafio com sucesso.

Esta pode ser uma das razões para não vermos civilizações extraterrestres no espaço. Se elas realmente existem, talvez sejam tão avançadas que não se interessem muito pela nossa sociedade primitiva tipo 0,7. Ou, quem sabe, elas foram devoradas pela guerra ou mortas pela sua própria poluição ao tentarem chegar ao status tipo I. (Neste sentido, a geração que está viva agora talvez seja uma das mais importantes a caminhar sobre a face da Terra; ela pode muito bem decidir se fazemos a transição para uma civilização tipo I com segurança.)

Mas, como disse Friedrich Nietzsche certa vez, o que não nos mata, nos fortalece. A nossa penosa transição do tipo 0 para o tipo I será certamente uma prova de fogo, com várias situações em que escaparemos por um fio. Se pudermos nos sair bem desse desafio, estaremos mais fortes, do mesmo modo como se tempera o aço a marteladas.

A CIVILIZAÇÃO DO TIPO I

Quando uma civilização chega ao status do tipo I, é improvável que tente

alcançar as estrelas; é mais certo que fique no planeta de origem durante séculos, tempo suficiente para resolver as paixões nacionalistas, fundamentalistas, raciais e sectárias do seu passado. Os escritores de ficção científica frequentemente subestimam a dificuldade de viagens e colonizações espaciais. Hoje, custa de 20 a 80 mil dólares por quilo para colocar qualquer coisa em órbita próximo da Terra. (Imagine John Glenn feito de ouro puro, e você começa a avaliar o custo exorbitante da viagem espacial.) Cada missão em ônibus espacial custa mais de 800 milhões de dólares (se pegarmos o custo total do programa de ônibus espaciais e dividirmos pelo número de missões). É provável que o custo da viagem espacial baixe, mas somente 10 por cento, nas próximas décadas, com a chegada de veículos de lançamento a serem reutilizados depois de completada uma missão. Durante a maior parte do século XXI, a viagem espacial continuará sendo uma proposta cara, exceto para os indivíduos e as nações mais ricas.

(Existe uma possível exceção: o desenvolvimento de "elevadores espaciais". Os recentes progressos em nanotecnologia possibilitam a produção de fios feitos de nanotubos de carbono superfortes e superleves. Em princípio, é possível que estes fios de átomos de carbono sejam fortes o suficiente para conectar a Terra com um satélite geossincrônico orbitando a mais de 30 mil quilômetros acima da Terra. Como João e o Pé de Feijão, talvez seja possível ascender por este nanotubo de carbono e alcançar o espaço cósmico por uma fração do custo habitual. Historicamente, os cientistas espaciais descartaram os elevadores espaciais porque a tensão exercida sobre o fio seria o bastante para romper qualquer fibra conhecida. Mas a tecnologia do nanotubo de carbono pode mudar isto. A NASA está custeando estudos preliminares sobre esta tecnologia, e a situação será analisada atentamente ao longo dos anos. Mas, se esta tecnologia se provar possível, um elevador espacial poderia, na melhor das hipóteses, nos colocar apenas em órbita em torno da Terra, não nos levar até os outros planetas.)

O sonho de colônias espaciais precisa ser comedido pelo fato de que o custo de missões tripuladas até a Lua e os planetas custar muitas vezes mais do que as missões próximas da Terra. Ao contrário das viagens terrenas de Colombo e os primeiros exploradores espanhóis séculos atrás, quando o custo de um navio era uma fração mínima do produto interno bruto da Espanha, e as recompensas econômicas em potencial eram imensas, a fundação de colônias na Lua e em Marte levaria a maioria das nações à bancarrota, ao mesmo tempo sem proporcionar quase nenhum benefício econômico direto. Uma simples missão tripulada até Marte custaria algo em torno de 100 a 500 bilhões de dólares, com pouco a retribuir do ponto de vista financeiro.

Da mesma forma, é preciso também considerar o perigo para os passageiros

humanos. Depois de meio século de experiências com foguetes de combustível líquido, a probabilidade de um fracasso catastrófico envolvendo missões com foguetes é de cerca de 1 em 70. (De fato, as duas trágicas perdas de ônibus espaciais encaixam-se nesta proporção.) Uma viagem espacial, costumamos esquecer, é diferente de fazer turismo. Com tanto combustível volátil e tantas ameaças hostis à vida humana, a viagem espacial continuará sendo uma proposta arriscada nas próximas décadas.

Numa escala de vários séculos, entretanto, a situação pode gradualmente mudar. À medida que o custo da viagem espacial continuar em seu lento declínio, um pequeno número de colônias espaciais pode, aos poucos, tomar conta de Marte. Nesta escala de tempo, alguns cientistas até sugeriram mecanismos engenhosos para equiparar Marte à Terra, como desviar um cometa da sua rota e fazer com que ele se pulverize na atmosfera, acrescentando portanto vapor de água à atmosfera. Outros foram a favor de injetar gás metano na atmosfera para criar um efeito estufa artificial no planeta vermelho, elevando a temperatura pouco a pouco, derretendo o *permafrost* sob a superfície de Marte, enchendo assim seus lagos e rios pela primeira vez em bilhões de anos. Alguns sugeriram medidas perigosas, mais extremas, como detonar uma ogiva nuclear subterrânea sob a calota de gelo para derretê-lo (o que poderia significar um risco para a saúde de colonizadores espaciais do futuro). Mas essas sugestões ainda são muito especulativas.

Mais provável é uma civilização do tipo I considerar as colônias espaciais uma prioridade distante nos próximos séculos. Mas, para as missões interplanetárias de longa distância, quando o tempo não é tão urgente, o desenvolvimento de um motor solar/iônico pode proporcionar uma nova forma de propulsão entre as estrelas. Esses motores em câmara lenta gerariam pouco impulso, mas poderiam manter esse impulso durante anos de cada vez. Estes motores concentram a energia solar, aquecem um gás como o césio e, em seguida, o arremessam pelo escapamento, dando um leve impulso que pode ser mantido quase indefinidamente. Os veículos acionados por esses motores poderiam ser ideais para criar um sistema de “rodovias” interplanetárias conectando os planetas.

Finalmente, as civilizações do tipo I poderiam enviar algumas sondas experimentais a estrelas próximas. Visto que a velocidade de foguetes químicos é basicamente limitada pela velocidade máxima dos gases no escapamento do foguete, os físicos terão de encontrar formas mais exóticas de propulsão, se esperam alcançar distâncias a centenas de anos-luz. Um projeto possível seria criar um reator de fusão, um foguete que extrai hidrogênio do espaço interestelar e o liquefaz, liberando quantidades ilimitadas de energia no processo. Entretanto,

a fusão próton-próton é muito difícil de se atingir, mesmo na Terra, muito menos no espaço cósmico dentro de uma nave estelar. Essa tecnologia, na melhor das hipóteses, está um século adiante no futuro.

A CIVILIZAÇÃO DO TIPO II

Uma civilização do tipo II, capaz de aproveitar a energia de uma estrela inteira, pode parecer uma versão da Federação dos Planetas na série *Jornada nas estrelas*, sem a “velocidade de dobra”. Eles colonizaram uma porção mínima da Via Láctea e podem acender estrelas e, portanto, qualificarem-se como um emergente do status tipo II.

Para utilizar plenamente a potência do Sol, o físico Freeman Dyson especulou que uma civilização do tipo II poderia construir uma esfera gigantesca em torno do Sol para absorver os seus raios. Esta civilização poderia, por exemplo, ser capaz de desconstruir um planeta do tamanho de Júpiter e distribuir a massa numa esfera ao redor do Sol. Devido à segunda lei da termodinâmica, a esfera acabaria aquecendo, emitindo uma radiação infravermelha característica que poderia ser vista do espaço cósmico. Jun Jugaku, do Instituto de Pesquisa da Civilização, no Japão, e seus colegas examinaram o céu até 80 anos-luz para tentar localizar algumas dessas civilizações e não encontraram evidência dessas emissões infravermelhas (mas lembre-se de que a nossa galáxia tem 100 mil anos-luz de extensão).[3]

Uma civilização do tipo II poderia colonizar alguns dos planetas no seu sistema solar e até embarcar num programa para o desenvolvimento de viagens interestelares. Devido aos vastos recursos disponíveis para uma civilização do tipo II, eles poderiam ter desenvolvido essas formas exóticas de propulsão, como um impulso matéria/antimatéria, para suas naves espaciais, possibilitando viagens perto da velocidade da luz. Em princípio, esta forma de energia é 100 por cento eficiente. Também é possível do ponto de vista experimental, mas caríssima pelos padrões do tipo I (é preciso um colisor de átomos para criar feixes de antiprótons que possam ser usados para criar antiátomos).

Podemos apenas especular sobre como uma sociedade do tipo II funcionaria. Entretanto, levaria milênios para resolver as disputas quanto ao direito de propriedade, recursos e energia. Uma civilização do tipo II seria potencialmente imortal. É provável que nada que a ciência conheça pudesse destruir tal civilização, exceto talvez a loucura dos habitantes. Cometas e meteoros poderiam ser desviados de rota, eras glaciais poderiam ser evitadas mudando-se

os padrões climáticos, até a ameaça de explosão de uma supernova vizinha poderia ser evitada simplesmente abandonando-se o planeta de origem e transportando a civilização para longe do caminho perigoso – até potencialmente alterando o mecanismo termonuclear da própria estrela moribunda.

A CIVILIZAÇÃO DO TIPO III

Quando a sociedade chegar ao nível de uma civilização do tipo III, talvez comece a considerar as fantásticas energias nas quais espaço e tempo se tornam instáveis. Lembre-se de que a energia de Planck é a energia na qual dominam efeitos quânticos e o espaço-tempo se torna "espumoso", com bolhinhas e buracos de minhoca. A energia de Planck hoje está fora do nosso alcance, mas isso só porque julgamos a energia do ponto de vista de uma civilização do tipo 0,7. Quando uma civilização chegar ao status tipo III, ela terá acesso (por definição) a energias 10 bilhões vezes 10 bilhões (ou 10^{20}) de vezes maiores do que as encontradas na Terra hoje.

O astrônomo Ian Crawford, do University College, em Londres, escreve sobre a civilização do tipo III: "Supondo um distanciamento de 10 anos-luz de uma colônia típica, uma velocidade de navegação de 10 por cento da velocidade da luz, e um período de quatrocentos anos entre a fundação de uma colônia e a emissão de suas próprias colônias, a frente da onda de colonização vai se expandir numa velocidade média de 0,02 anos-luz por ano. Como a galáxia tem 100 mil anos-luz de diâmetro, não levará mais do que uns 5 milhões de anos para colonizá-la totalmente. Embora seja muito tempo em termos humanos, isto é apenas 0,05 por cento da idade da galáxia."[4]

Os cientistas fizeram tentativas sérias para detectar emissões de rádio vindas de uma civilização do tipo III dentro da nossa própria galáxia. O gigantesco radiotelescópio Aricebo, em Porto Rico, vasculhou boa parte da galáxia em busca de emissões de rádio em 1,42 gigahertz, próximo da linha de emissão de gás hidrogênio. Não encontrou nenhuma evidência de emissões de rádio nessa banda vindas de nenhuma civilização irradiando entre 10^{18} a 10^{30} watts de potência (isto é, do tipo I.2 ao tipo II.4). Entretanto, isto não descarta civilizações com tecnologia mais avançada do que a nossa, do tipo 0,8 a tipo I.1, ou consideravelmente na nossa frente, como tipo II.5 e mais do que isso.[5]

Também não descarta outras formas de comunicação. Uma civilização avançada, por exemplo, poderia enviar sinais por laser em vez de rádio. E, se usam rádio, talvez usem frequências diferentes de 1,42 gigahertz. Por exemplo,

elas podem espalhar seus sinais através de muitas frequências e depois reagrupá-los na extremidade receptora. Desse modo, uma estrela de passagem ou uma tempestade cósmica não interfeririam na mensagem inteira. Quem estivesse ouvindo esses sinais espalhados escutaria apenas sons desconexos e incoerentes. (Nossos próprios e-mails são quebrados em muitos pedaços, cada um enviado através de uma cidade diferente, e depois reunidos no final no seu PC. Do mesmo modo, civilizações avançadas podem decidir usar métodos sofisticados para quebrar um sinal e remontá-lo na outra extremidade.)

Se existe uma civilização do tipo III no universo, uma das suas maiores preocupações seria estabelecer um sistema de comunicação conectando a galáxia. Isto, é claro, depende de elas poderem, de alguma forma, dominar a tecnologia mais-rápida-que-a-luz, como através de buracos de minhoca. Supondo que não possam, então o seu crescimento será consideravelmente atrofiado. O físico Freeman Dyson, citando o trabalho de Jean-Marc Levy-Leblond, especula que tal sociedade poderia viver num universo “Carrol”, batizado com o nome de Lewis Carrol. No passado, escreve Dyson, a sociedade humana baseava-se em pequenas tribos nas quais o espaço era absoluto, mas o tempo era relativo. Isto significava que a comunicação entre tribos espalhadas era impossível, e só poderíamos nos aventurar a curtas distâncias do nosso local de nascimento no espaço de tempo de uma vida humana. Cada tribo era separada pela vastidão do espaço absoluto. Com o advento da Revolução Industrial, entramos no universo newtoniano, no qual espaço e tempo se tornam absolutos, e tivemos navios e rodas que ligaram as tribos espalhadas em nações. No século XX, entramos no universo einsteiniano, onde espaço e tempo eram ambos relativos, e inventamos o telégrafo, o telefone, o rádio e a televisão, resultando em comunicação instantânea. Uma civilização do tipo III pode se desviar para um universo Carrol mais uma vez, com bolsões de colônias espaciais separados por vastas distâncias interestelares, incapazes de se comunicar devido à barreira de luz. Para impedir a fragmentação de um universo Carrol, uma civilização do tipo III talvez precisasse desenvolver buracos de minhoca que permitissem a comunicação mais rápida do que a luz no nível subatômico.[6]

A CIVILIZAÇÃO DO TIPO IV

Um dia, eu dava uma palestra no Planetário de Londres e um menino de dez anos se aproximou de mim insistindo que tinha de haver uma civilização do tipo IV. Quando eu o lembrei de que existem apenas planetas, estrelas e galáxias e

que estas são as únicas plataformas que admitem a germinação de vida inteligente, ele afirmou que uma civilização do tipo IV poderia utilizar a potência do contínuo.[7]

Ele estava certo, eu percebi. Se pudesse existir uma civilização do tipo IV, sua fonte de energia poderia ser extragaláctica, assim como a energia escura que vemos a nossa volta, que compõe 73 por cento do conteúdo de matéria/energia do universo. Embora potencialmente um reservatório enorme de energia – de longe o maior do universo –, este campo de antigravidade espalha-se pelas vastas áreas vazias do universo, e ela é, portanto, extremamente fraca em qualquer ponto do espaço.

Nikola Tesla, o gênio da eletricidade e rival de Thomas Edison, escreveu extensamente sobre colher energia do vácuo. Ele acreditava que o vácuo ocultava reservatórios incalculáveis de energia. Se pudéssemos, de alguma maneira, ter acesso a esta fonte, isso revolucionaria toda a sociedade humana, pensava ele. Mas extrair esta fabulosa energia seria dificílimo. Imagine procurar ouro no oceano. Existe provavelmente mais ouro espalhado pelos oceanos do que todo o ouro em Fort Knox e outros tesouros do mundo. Entretanto, o custo de extrair este metal numa área tão grande é proibitivo. Por conseguinte, o ouro depositado nos oceanos nunca foi colhido.

Do mesmo modo, a energia oculta na energia escura excede todo o conteúdo de energia das estrelas e galáxias. Entretanto, ela está espalhada em bilhões de anos-luz e seria difícil de concentrar. Mas, segundo as leis da física, ainda é concebível que uma civilização avançada do tipo III, tendo esgotado a potência das estrelas na galáxia, possa, de alguma maneira, recorrer a esta energia e fazer a transição para o tipo IV.

CLASSIFICAÇÃO DE INFORMAÇÃO

Outras sutilezas na classificação de civilizações podem ser feitas baseando-se em novas tecnologias. Kardashev redigiu a classificação original na década de 1960, antes da explosão das miniaturizações por computador, avanços em nanotecnologia e a consciência dos problemas decorrentes da degradação ambiental. À luz destes desenvolvimentos, uma civilização avançada poderia progredir num estilo um pouco diferente, aproveitando-se da revolução na informação a que estamos assistindo hoje.

À medida que uma civilização avançada se desenvolvesse exponencialmente, a copiosa produção de calor residual poderia elevar a temperatura da atmosfera

do planeta a níveis arriscados e ocasionar problemas climáticos. Colônias de bactérias crescem exponencialmente numa placa de Petri até esgotarem o suprimento alimentar e literalmente se afogarem em suas próprias excreções. Do mesmo modo, como o custo de viagens espaciais continuará proibitivo durante séculos, e os planetas próximos adaptáveis a nós, se possíveis, ainda apresentarão desafios econômicos e científicos enormes, uma civilização do tipo I em evolução poderia sufocar no seu próprio calor residual ou miniaturizar e aerodinamizar sua produção de informações.

Para ver a eficácia dessa miniaturização, imagine o cérebro humano, que contém cerca de 100 bilhões de neurônios (o número de galáxias no universo visível), mas quase não gera calor. De fato, se um engenheiro de computador hoje fosse projetar uma máquina eletrônica capaz de computar quatrilhões de bytes por segundo, como o cérebro pode aparentemente fazer sem nenhum esforço, é provável que ela fosse do tamanho de várias quadras e precisaria de um reservatório de água para resfriá-la. Mas nossos cérebros podem ter os pensamentos mais sublimes sem transpirar nem um pouco.

O cérebro consegue isto graças a sua arquitetura molecular e celular. Antes de tudo, ele não é um computador (no sentido de ser uma máquina de Turim padrão, com fita de entrada e fita de saída e processador central). O cérebro não tem sistema operacional, não tem Windows, não tem CPU, não tem chip Pentium, que, em geral, associamos aos computadores. Pelo contrário, é uma rede neural eficientíssima, uma máquina de aprendizado, onde padrões de memória e pensamento são distribuídos pelo cérebro em vez de estarem concentrados numa unidade de processamento central. O cérebro nem mesmo computa com muita rapidez, porque as mensagens elétricas enviadas pelos neurônios são de natureza química. Mas ele compensa muito bem esta lentidão porque pode executar processamentos paralelos e aprender novas tarefas em velocidades astronomicamente grandes.

Para aprimorar a rude eficiência de computadores eletrônicos, os cientistas estão tentando usar ideias novas, muitas copiadas da natureza, para criar a nova geração de computadores miniaturizados. Em Princeton, os cientistas já são capazes de computar em moléculas de DNA (tratando o DNA como um pedaço de fita de computador baseada não em 0s e 1s binários, mas nos quatros ácidos nucleicos A, T, C, G); o computador de DNA deles solucionou o problema do caixeiro viajante para várias cidades (isto é, calcula o caminho mais curto conectando N cidades). Do mesmo modo, transistores moleculares foram criados no laboratório, e até os primeiros computadores quânticos primitivos (que podem calcular em átomos individuais) foram construídos.

Diante dos avanços da nanotecnologia, é concebível que uma civilização

avançada encontre meios muito mais eficientes de desenvolver em vez de criar copiosas quantidades de calor residual que ameacem a sua existência.

OS TIPOS DE A A Z

Sagan introduziu mais um modo de classificar civilizações avançadas segundo o seu conteúdo de informação, que seria essencial a qualquer civilização que pense em deixar o universo. Uma civilização do tipo A, por exemplo, é a que processa 10^6 bits de informação. Isto corresponderia a uma civilização primitiva sem uma linguagem escrita, mas com uma linguagem falada. Para compreender quanta informação está contida numa civilização do tipo A, Sagan usou o exemplo do jogo das vinte perguntas, no qual você deve identificar um objeto misterioso fazendo não mais do que vinte perguntas que podem ser respondidas com um sim ou um não. Uma estratégia é fazer perguntas que dividem o mundo em dois grandes pedaços, como: “Está vivo?” Depois de fazer vinte dessas perguntas, teremos dividido o mundo em 2^{20} pedaços ou 10^6 pedaços, que é o conteúdo total de informações de uma civilização do tipo A.

Uma vez descoberta a linguagem escrita, o conteúdo total de informações rapidamente explode. O físico Phillip Morrison, do MIT, estima que a herança escrita total sobrevivente da Grécia antiga é cerca de 10^9 bits ou uma civilização do tipo C, pela classificação de Sagan.

Sagan estimou o nosso conteúdo atual de informações. Ao calcular o número de livros contidos em todas as bibliotecas do mundo (avaliados em dezenas de milhões) e o número de páginas em cada livro, ele encontrou cerca de 10^{13} bits de informação. Se incluirmos fotografias, isto pode subir para 10^{15} bits; o que nos colocaria como uma civilização do tipo H. Devido a nossa baixa energia e produção de informações, podemos ser classificados como uma civilização H do tipo 0,7.

Ele estimou que o nosso primeiro contato com uma civilização extraterrestre envolveria uma civilização pelo menos do tipo 1,5 J ou 1,8 K porque elas já dominaram a dinâmica da viagem interestrelar. No mínimo, uma tal civilização seria vários séculos, até milênios mais avançada do que a nossa. Da mesma forma, uma civilização galáctica do tipo III talvez possa ser tipificada pelo conteúdo de informações de cada planeta multiplicado pelo número de planetas na galáxia capazes de sustentar a vida. Sagan estimou que esse tipo de civilização III seria o tipo Q. Uma civilização avançada capaz de aproveitar o conteúdo de informações de um bilhão de galáxias, representando uma grande

porção do universo visível, qualificaria a civilização como do tipo Z, estimou ele.

Este não é um exercício acadêmico banal. Qualquer civilização prestes a deixar o universo terá necessariamente de computar as condições do outro lado do universo. As equações de Einstein são notoriamente difíceis porque, para calcular a curvatura do espaço em qualquer ponto, você tem de saber a localização de todos os objetos no universo, já que todos contribuem para a curvatura do espaço. Você terá também de saber as correções quânticas com relação ao buraco negro, que no presente são impossíveis de calcular. Visto que isto é dificílimo para os nossos computadores, os físicos de hoje, em geral, aproximam um buraco negro estudando um universo dominado por uma única estrela colapsada. Para chegar a uma compreensão mais realista da dinâmica dentro do horizonte de eventos de um buraco negro ou perto da boca de um buraco de minhoca, temos necessariamente de saber a localização e o conteúdo de energia de todas as estrelas próximas e computar flutuações quânticas. Mais uma vez, isto é proibitivamente difícil. Já é bastante complicado solucionar as equações para uma única estrela num universo vazio, imagine para bilhões de galáxias flutuando num universo inflado.

É por isso que qualquer civilização que tente fazer uma jornada através de um buraco de minhoca teria de ter uma capacidade computacional muito além da disponível para uma civilização do tipo 0,7 H, como a nossa. Talvez a civilização mínima com o conteúdo de energia e informações a pensar seriamente em dar este salto seria uma do tipo III Q.

Também é concebível que a inteligência possa se espalhar além dos confins da classificação de Kardashev. Como diz *Sir* Martin Rees: “É bastante concebível que, mesmo que a vida agora exista apenas aqui na Terra, ela acabe se espalhando pela galáxia e além dela. Assim, a vida talvez não seja para sempre um traço contaminante sem importância do universo, embora hoje ela seja. De fato, acho esta uma visão bastante atraente e acho que seria saudável se fosse amplamente compartilhada.”[8] Mas ele nos alerta: “Se nós nos extinguíssemos, estaríamos destruindo autênticas potencialidades cósmicas. Portanto, mesmo que alguém acredite que a vida é exclusivamente da Terra agora, isso não quer dizer que ela será sempre uma parte trivial do universo.”[9]

Como uma civilização avançada pode pensar em abandonar o seu universo moribundo? Ela teria de superar uma série de grandes obstáculos.

PRIMEIRA ETAPA: CRIAR E TESTAR UMA TEORIA DE

TUDO

A primeira barreira para uma civilização que pretende deixar o universo seria completar uma teoria de tudo. Seja uma teoria das cordas ou não, precisamos de uma maneira de calcular as correções quânticas das equações de Einstein de uma forma confiável ou nenhuma das nossas teorias terá utilidade. Felizmente, como a teoria M está avançando muito rápido, com alguns dos melhores intelectos do planeta trabalhando nesta questão, saberemos logo se ela é mesmo a teoria de tudo ou uma teoria de nada em poucas décadas ou possivelmente antes disso.

Uma vez encontrada a teoria de tudo ou uma teoria da gravitação quântica, teremos de verificar as suas consequências usando tecnologias avançadas. Existem várias possibilidades, inclusive construir grandes colisores de átomos para criar superpartículas ou até imensos detectores de ondas gravitacionais localizados no espaço ou em luas diferentes por todo sistema solar. (As luas são bastante estáveis por longos períodos de tempo, livres de erosão e perturbações atmosféricas. Portanto, um sistema planetário de detectores de ondas gravitacionais deveria ser capaz de sondar os detalhes do Big Bang, resolvendo qualquer dúvida que possamos ter acerca da gravitação quântica e criando um novo universo.)

Uma vez encontrada uma teoria da gravitação quântica, e imensos colisores de átomos e detectores de ondas gravitacionais tenham confirmado a sua correção, então podemos começar a responder a algumas questões essenciais referentes às equações de Einstein e buracos de minhoca:

1. Os buracos de minhoca são estáveis?

Ao passar por um buraco negro de Kerr em rotação, o problema é que sua própria presença perturba o buraco negro; ele pode entrar em colapso antes que você complete uma passagem pela ponte de Einstein-Rosen. Este cálculo de estabilidade precisa ser refeito à luz de correções quânticas, que podem mudar totalmente o cálculo.

2. Existem divergências?

Se atravessamos um buraco de minhoca que liga duas eras no tempo, então o aumento de radiação que cerca a entrada do buraco de minhoca pode se tornar infinito, o que seria desastroso. (Isto porque a radiação pode atravessar o buraco de minhoca, voltar no tempo e retornar depois de muitos anos para entrar no buraco de minhoca uma segunda vez. Este processo pode se repetir um número infinito de vezes, levando a um acúmulo infinito de radiação. Mas tal problema pode ser solucionado se a teoria dos muitos mundos se sustentar, de modo que o

universo se divida todas as vezes que a radiação atravessar o buraco de minhoca, e se não houver acúmulo infinito de radiação. Precisamos de uma teoria de tudo para resolver esta delicada questão.)

3. Podemos encontrar grandes quantidades de energia negativa?

A energia negativa, um ingrediente-chave que pode abrir e estabilizar buracos de minhoca, tem existência confirmada, mas apenas em pequenas quantidades. Podemos encontrar quantidades suficientes para abrir e estabilizar um buraco de minhoca?

Supondo que as respostas para estas perguntas possam ser encontradas, então uma civilização avançada talvez comece seriamente a considerar como deixar o universo ou enfrentar a extinção. Existem várias alternativas.

SEGUNDA ETAPA: ENCONTRAR BURACOS DE MINHOCA E BURACOS BRANCOS QUE OCORRAM NATURALMENTE

Buracos de minhoca, portões dimensionais e cordas cósmicas talvez existam naturalmente no espaço cósmico. No instante do Big Bang, quando uma imensa quantidade de energia foi liberada no espaço, os buracos de minhoca e cordas cósmicas podem ter se formado naturalmente. A inflação do início do universo poderia então ter expandido estes buracos de minhoca até um tamanho macroscópico. Além disso, há a possibilidade de matéria exótica ou matéria negativa existir naturalmente no espaço cósmico. Isto seria uma enorme ajuda para qualquer tentativa de abandonar um universo moribundo. Entretanto, nada garante que esses objetos existam na natureza. Ninguém jamais viu nenhum desses objetos, e é simplesmente arriscado demais apostar o destino de toda a vida inteligente nesta hipótese.

Em seguida, existe a possibilidade de que “buracos brancos” sejam encontrados, vasculhando-se os céus. O buraco branco é uma solução das equações de Einstein na qual o tempo é invertido, de modo que os objetos são ejetados de um buraco branco da mesma maneira como os são sugados para dentro de um buraco negro. Um buraco branco pode ser encontrado na outra extremidade de um buraco negro, de modo que a matéria que entra por um buraco negro acaba saindo pelo buraco branco. Até agora, nenhuma busca astronômica encontrou evidências de buracos brancos, mas a sua existência poderia ser confirmada ou negada com a próxima geração de detectores espaciais.

ETAPA TRÊS: ENVIAR SONDAS ATRAVÉS DE UM BURACO NEGRO

Há inegáveis vantagens no uso desses buracos negros como buracos de minhoca. Os buracos negros, como já descobrimos, são muito abundantes no universo; se for possível solucionar os numerosos problemas técnicos, eles terão de ser seriamente considerados por qualquer civilização avançada como uma escotilha de emergência para sair do nosso universo. Além disso, ao passar por um buraco negro, não estamos presos à limitação de que não podemos voltar para um tempo anterior à criação da máquina do tempo. O buraco de minhoca no centro do anel de Kerr pode conectar o nosso universo a universos bem diferentes ou pontos diferentes no mesmo universo. A única maneira de se saber isso seria testar com sondas e usar um supercomputador para calcular a distribuição de massas nos universos e calcular correções quânticas para as equações de Einstein através do buraco de minhoca.

Hoje em dia, quase todos os físicos acreditam que uma viagem através de um buraco negro seria fatal. Mas nossa compreensão da física de um buraco negro ainda está engatinhando, e esta conjectura nunca foi testada. Vamos supor, só à guisa de argumentação, que uma viagem através de um buraco negro fosse possível, especialmente um buraco negro de Kerr em rotação. Então, qualquer civilização avançada pensaria seriamente em sondar o interior de buracos negros.

Visto que uma viagem através de um buraco negro não teria retorno, e tendo em vista os enormes riscos encontrados próximos de um buraco negro, é provável que uma civilização avançada tentasse localizar um buraco negro estelar vizinho e enviasse primeiro uma sonda através dele. Informações valiosas poderiam ser enviadas de volta pela sonda até ela finalmente cruzar o horizonte de eventos e todo o contato se perder. (Uma travessia do horizonte de eventos tende a ser bastante letal devido ao campo de radiação intensa que o cerca. Os raios de luz que caem em um buraco negro serão desviados para o azul e, portanto, ganharão energia à medida que se aproximam do centro.) Qualquer sonda que passe perto do horizonte de eventos teria de estar devidamente protegida contra esta intensa barreira de radiação. Além do mais, isto pode desestabilizar o próprio buraco negro, de modo que o horizonte de eventos se tornaria uma singularidade, fechando, portanto, o buraco de minhoca. A sonda determinaria a exata quantidade de radiação existente perto do horizonte de eventos e se o buraco de minhoca poderia permanecer estável apesar de todo este fluxo de energia.

Os dados emitidos pela sonda antes de entrar no horizonte de eventos teriam de ser enviados por rádio para naves espaciais próximas, mas aí reside outro problema. Para um observador numa dessas naves, a sonda pareceria estar diminuindo de velocidade à medida que se aproximasse do horizonte de eventos. Ao entrar nele, a sonda, de fato, pareceria estar congelada no tempo. Para evitar este problema, elas teriam de enviar por rádio os seus dados a uma certa distância do horizonte de eventos ou até os sinais de rádio sofreriam um desvio tão grande para o vermelho que os dados ficariam irreconhecíveis.

ETAPA QUATRO: CONSTRUIR UM BURACO NEGRO EM CÂMERA LENTA

Uma vez que as características perto do horizonte de eventos de buracos negros sejam cuidadosamente confirmadas por sondas, o próximo passo poderia ser criar um buraco negro em câmera lenta para propósitos experimentais. Uma civilização do tipo III tentaria reproduzir os resultados sugeridos no artigo de Einstein – que buracos negros jamais se formam a partir de massas rodopiantes de poeira e partículas. Einstein tentou mostrar que um conjunto de partículas girando em torno do próprio eixo não alcançará o raio de Schwarzschild por si mesmo (e, por conseguinte, os buracos negros eram impossíveis).

As massas rodopiantes, por si mesmas, podem não se contrair num buraco negro. Mas isso deixa em aberto a possibilidade de se injetar artificialmente energia e matéria novas, devagar, no sistema rodopiante, forçando as massas a passarem, aos poucos, para dentro do raio de Schwarzschild. Deste modo, uma civilização poderia manipular a formação de um buraco negro de forma controlada.

Por exemplo, alguém pode imaginar uma civilização do tipo III encurralando estrelas de nêutrons, que são mais ou menos do tamanho de Manhattan, mas pesam mais do que o nosso Sol, e formando com elas um conjunto rodopiante. A gravidade aproximaria mais estas estrelas. Mas elas jamais atingiriam o raio de Schwarzschild, como Einstein mostrou. Neste ponto, os cientistas desta civilização avançada poderiam cuidadosamente injetar novas estrelas de nêutrons na mistura. Isso poderia ser o suficiente para equilibrar a balança, fazendo esta massa rodopiante de nêutrons colapsar no raio de Schwarzschild. Como resultado, o conjunto de estrelas colapsaria num anel em rotação, o buraco negro de Kerr. Controlando a velocidade e os raios das várias estrelas de nêutrons, essa civilização faria o buraco negro de Kerr se abrir tão lentamente

quanto ela quisesse.

Ou uma civilização avançada poderia tentar reunir pequenas estrelas de nêutrons numa única massa estacionária até ela chegar ao tamanho de 3 massas solares, o que é mais ou menos o limite de Chandrasekhar para estrelas de nêutrons. Além deste limite, a estrela implodiria num buraco negro pela sua própria gravidade. (Uma civilização avançada teria de ter cuidado para que a criação de um buraco negro não detonasse uma explosão semelhante a uma supernova. A contração num buraco negro teria de ser feita aos poucos e com muita precisão.)

Claro, para quem atravessasse um horizonte de eventos, é garantida apenas a passagem de ida. Mas, para uma civilização avançada enfrentando a extinção certa, uma viagem só de ida talvez seja a única alternativa. Ainda assim, há o problema da radiação ao se passar pelo horizonte de eventos. Os feixes de luz que nos acompanham através do horizonte de eventos tornam-se mais energéticos à medida que aumentam de frequência. Isto provavelmente causará uma chuva de radiação que seria mortal para qualquer astronauta que atravessasse o horizonte de eventos. Qualquer civilização avançada teria de calcular a quantidade exata dessa radiação para construir uma blindagem adequada a fim de não ser frita.

Por último, existe o problema da estabilidade: o buraco de minhoca no centro do anel de Kerr será suficientemente estável para uma queda completa através dele? A matemática desta pergunta não é clara, visto que teríamos de usar uma teoria quântica da gravitação para fazer um cálculo adequado. Pode ser que o anel de Kerr seja estável em certas condições muito restritas, conforme a matéria cai pelo buraco de minhoca. Esta questão teria de ser cuidadosamente resolvida usando-se a matemática da gravitação quântica e experimentos no próprio buraco negro.

Em resumo, a passagem por um buraco negro seria, sem dúvida, uma viagem muito difícil e perigosa. Teoricamente, ela não pode ser descartada até serem realizados experimentos extensivos e cálculos adequados de todas as correções quânticas.

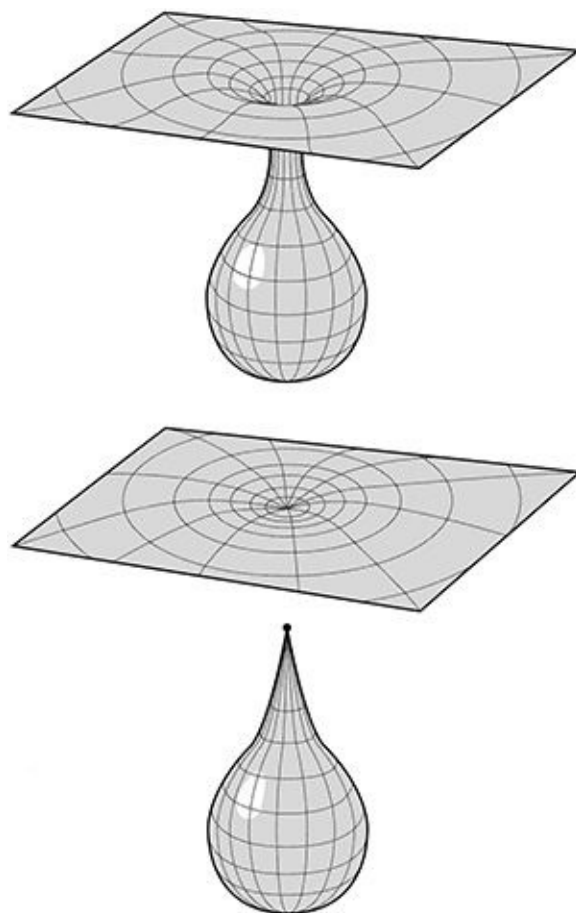
ETAPA CINCO: CRIAR UM UNIVERSO BEBÊ

Até agora, supomos que seria possível passar por um buraco negro. Vamos, agora, supor o inverso, que os buracos negros sejam muito instáveis e repletos de radiação letal. Pode-se, em seguida, tentar um caminho ainda mais difícil: criar

um universo bebê. O conceito de uma civilização avançada criando uma escotilha de emergência para outro universo tem deixado físicos como Alan Guth intrigados. Como a teoria inflacionária depende demais da criação do falso vácuo, Guth imaginou se uma civilização avançada poderia criar artificialmente um falso vácuo e um universo bebê no laboratório.[10]

De início, a ideia de criar um universo parece absurda. Afinal de contas, como Guth observa, para criar o nosso universo você precisaria de 10^{89} fótons, 10^{89} elétrons, 10^{89} Pode haver ainda mais uma forma de criar um universo bebê. Talvez fosse possível aquecer uma pequena região de espaço a 10^{29} graus K e, em seguida, resfriá-lo rapidamente. A esta temperatura, conjectura-se que o espaço-tempo se torna instável; minúsculos universos bolhas começariam a se formar, e um falso vácuo poderia ser criado. Esses minúsculos universos bebê, que se formam o tempo todo, mas têm vida curta, talvez se tornem universos reais a essa temperatura. Tal fenômeno já é conhecido nos campos elétricos comuns. (Por exemplo, se criarmos um campo elétrico grande o suficiente, os pares elétron-antielétron virtuais que pipocam surgindo e desaparecendo do vácuo podem de repente se tornar reais, permitindo que estas partículas existam, surgindo do nada.)

Supondo que uma densidade ou temperatura tão impossíveis de se imaginar possam ser alcançadas, a formação de um universo bebê teria a tal aparência. No nosso universo, poderosos raios laser e feixes de partícula poderiam ser usados para comprimir e aquecer uma quantidade mínima de matéria a níveis fantásticos de energia e temperatura. Jamais veríamos o universo bebê quando ele começa a se formar, visto que ele se expande do "outro lado" da singularidade, e não no nosso universo. Esse universo bebê alternativo inflaria potencialmente no hiperespaço pela sua própria força de antigravidade e "brotaria" fora do nosso universo. Nós, portanto, jamais vemos que um novo universo está se formando do outro lado da singularidade. Mas um buraco de minhoca, como um cordão umbilical, nos conectaria com o universo bebê.

Mas é um pouco arriscado criar um universo num forno. O cordão umbilical que conectasse o nosso universo com o universo bebê acabaria evaporando e criando uma radiação de Hawking equivalente a uma explosão nuclear de 500 quilotons, mais ou menos 25 vezes a energia da bomba de Hiroshima. Então, haveria um preço a se pagar pela criação de um novo universo num forno.

Um universo bebê poderia ser criado artificialmente por uma civilização avançada de várias maneiras. Alguns gramas de matéria poderiam ser concentrados a enormes densidades e energias ou a matéria poderia ser aquecida próxima da temperatura de Planck.

Um último problema neste cenário de criação de falso vácuo é que seria fácil para o novo universo simplesmente colapsar num buraco negro, o que, lembramos, supomos que seria letal. A razão para isto é a teoria de Penrose, que afirma que, para uma ampla variedade de cenários, qualquer grande concentração de massa suficientemente grande irá inevitavelmente colapsar num buraco negro. Visto que as equações de Einstein são invariantes por reversão temporal, isto é, elas podem funcionar seja para a frente ou para trás no tempo, isto significa que qualquer matéria que caia do nosso universo bebê pode deslocar-se para trás no tempo, resultando num buraco negro. Por conseguinte, seria preciso ter muito cuidado na construção do universo bebê para evitar o teorema de Penrose.

O teorema de Penrose apoia-se na suposição de que a matéria caindo tem energia positiva (como o mundo que vemos a nossa volta). Entretanto, o teorema deixa de ser válido se temos energia negativa ou matéria negativa. Portanto, mesmo para o cenário inflacionário, precisamos obter energia negativa para criar

um universo bebê, assim como para criar o buraco de minhoca atravessável.

ETAPA SEIS: CRIAR IMENSOS COLISORES DE ÁTOMOS

Como podemos construir uma máquina capaz de deixar o nosso universo, admitindo-se o acesso ilimitado à alta tecnologia? Em que ponto podemos esperar utilizar o poder da energia de Planck? Quando uma civilização alcança o status tipo III, ela já tem o poder de manipular a energia de Planck, por definição. Os cientistas seriam capazes de brincar com buracos de minhoca e reunir energia suficiente para abrir buracos no espaço e no tempo.

Existem várias maneiras de uma civilização avançada fazer isso. Como já falei antes, o nosso universo talvez seja uma membrana com um universo paralelo distante apenas um milímetro de nós, flutuando no hiperespaço. Sendo assim, então o Large Hadron Collider talvez o detecte nos próximos anos. Quando avançarmos para uma civilização do tipo I, talvez até tenhamos a tecnologia para explorar a natureza deste universo vizinho. Portanto, a ideia de fazer contato com um universo paralelo talvez não seja tão absurda.

Mas vamos supor o pior, que a energia na qual surjam efeitos gravitacionais quânticos *seja* a energia de Planck, que é um quatrilhão de vezes maior do que a energia do LHC. Para explorar a energia de Planck, uma civilização do tipo III teria de criar um colisor de átomos de proporções estelares. Em colisores de átomos, ou aceleradores de partículas, as partículas subatômicas viajam por um tubo estreito. À medida que a energia é injetada na tubulação, as partículas são aceleradas a altas energias. Se usarmos ímãs imensos para curvar o caminho das partículas num grande círculo, as partículas podem ser aceleradas a trilhões de elétron-volts de energia. Quanto maior o raio do círculo, maior a energia do feixe. O LHC tem 27 quilômetros de diâmetro, o que vai além do limite da energia disponível para uma civilização do tipo 0,7.

Para uma civilização do tipo III, abre-se a possibilidade de fazer um colisor de átomos do tamanho de um sistema solar ou mesmo de um sistema estelar. É concebível que uma civilização avançada possa disparar um feixe de partículas subatômicas no espaço cósmico e acelerá-las até a energia de Planck. Conforme lembramos, com a nova geração de aceleradores de partículas a laser, dentro de poucas décadas os físicos talvez consigam criar um acelerador de mesa capaz de alcançar 200 GeV (200 bilhões de elétron-volts) numa distância de um metro. Agrupando estes aceleradores de mesa um depois do outro, é concebível que se possa alcançar energias nas quais o espaço-tempo se torna instável.

Presumindo que futuros aceleradores possam impulsionar partículas só por 200 GeV por metro, o que é uma hipótese conservadora, precisaríamos de um acelerador de partículas com 10 anos-luz de comprimento para chegar à energia de Planck. Embora isso seja proibitivamente grande para qualquer civilização do tipo I ou II, está dentro da capacidade de uma civilização do tipo III. Para construir um colisor de partículas tão monstruoso, uma civilização do tipo III teria de curvar o caminho do feixe num círculo, economizando, portanto, um espaço considerável ou deixar o caminho esticado numa linha que se estenderia bem mais além da estrela mais próxima.

Seria possível, por exemplo, construir um colisor de átomos que dispara partículas subatômicas ao longo de um caminho circular dentro de um cinturão de asteroides. Você não precisaria construir um pedaço de tubulação circular caro, porque o vácuo no espaço cósmico é melhor do que qualquer vácuo que possamos criar na Terra. Mas teria de construir ímãs enormes, colocados a intervalos regulares em luas e asteroides distantes no sistema solar ou em vários sistemas estelares, que periodicamente curvariam o feixe.

Quando o feixe se aproxima de uma lua ou asteroide, enormes ímãs localizados na lua puxariam então o feixe, mudando a sua direção muito ligeiramente. (As estações lunares ou em asteroides também teriam de acertar o foco do feixe a intervalos regulares, porque o feixe divergiria gradualmente quanto mais longe ele fosse.) Conforme o feixe viajasse por várias luas, ele aos poucos traçaria a forma de um arco. No final, o feixe viajaria no formato aproximado de um círculo. Pode-se também imaginar dois feixes, um viajando no sentido horário em torno do sistema solar, e o outro, no sentido anti-horário. Quando os dois feixes colidissem, a energia liberada pela colisão matéria/antimatéria criaria energias próximas da energia de Planck. (Pode-se calcular que os campos magnéticos necessários para curvar um feixe tão poderoso excedem de longe a tecnologia atual. Entretanto, é concebível que uma civilização avançada possa usar explosivos para enviar um poderoso surto de energia através de espirais e criar um enorme pulso magnético. Esta titânica explosão de energia magnética só poderia ser liberada uma vez, visto que provavelmente destruiria as espirais, portanto os ímãs teriam de ser rapidamente substituídos antes que o feixe de partículas retornasse para a segunda passagem.)

Além dos tremendos problemas de engenharia para a criação de um colisor de átomos assim, há também a delicada questão de se saber se existe um limite para a energia de um feixe de partículas. Qualquer feixe de partículas energéticas acabaria colidindo com os fótons que compõem a radiação de fundo de 2,7 graus e, portanto, perderia energia. Na teoria, isto talvez consumisse tanta energia do feixe que haveria um teto máximo para a energia que se pudesse obter no espaço

cósmico. Este resultado ainda não foi testado experimentalmente. (De fato, há indícios de que impactos de raios cósmicos energéticos excederam esta energia máxima, lançando dúvidas quanto a todos os cálculos.) Entretanto, se for verdade, então uma modificação mais cara do aparelho seria necessária. Primeiro, alguém poderia encerrar o feixe inteiro numa tubulação a vácuo com proteção para não deixar entrar a radiação de fundo de 2,7 graus. Ou, se o experimento for feito num futuro distante, é possível que a radiação de fundo seja pequena o suficiente para não ter mais importância.

ETAPA SETE: CRIAR MECANISMOS DE IMPLOSÃO

Pode-se também imaginar um segundo artifício, baseado em raios laser e um mecanismo de implosão. Na natureza, temperaturas e pressões tremendas são obtidas pelo método de implosão, como quando uma estrela moribunda colapsa de repente sob a força da gravidade. Isto é possível porque a gravitação é apenas atrativa, não repulsiva, e portanto o colapso ocorre de modo uniforme, assim a estrela é comprimida igualmente a densidades incríveis.

É muito difícil recriar este método de implosão no planeta Terra. Bombas de hidrogênio, por exemplo, devem ser projetadas com a precisão de um relógio suíço de modo que o deutereto de lítio], o ingrediente ativo de uma bomba de hidrogênio, seja comprimido a dezenas de milhões de graus para atingir os critérios de Lawson, nos quais o processo de fusão tem início. (Isto é feito detonando-se uma bomba atômica próximo do deutereto de lítio, e, em seguida, focalizando a radiação de raios X por igual sobre a superfície de um pedaço de deutereto de lítio.) Tal processo, entretanto, só pode liberar energia por explosão, não de um modo controlado.

Na Terra, as tentativas de usar magnetismo para comprimir gases ricos em hidrogênio falharam, principalmente porque o magnetismo não comprime gases de modo uniforme. Como nunca vimos um monopolo na natureza, os campos magnéticos são dipolares, como o campo magnético da Terra. Consequentemente, eles são terrivelmente não uniformes. Usá-los para espremer gases é o mesmo que tentar espremer um balão. Sempre que você aperta de um lado, o outro fica mais inchado.

Outro modo de controlar a fusão poderia ser usando uma bateria de raios laser, ordenados ao longo da superfície de uma esfera, de modo que sejam disparados radialmente para uma minúscula pastilha de deutereto de lítio no centro. Por exemplo, no Laboratório Nacional de Livermore, há um potente aparelho de

fusão a laser usado para simular armas nucleares. Ele dispara uma série de raios laser horizontalmente por um túnel. Em seguida, espelhos fixados na extremidade do túnel refletem cuidadosamente cada raio, de modo que os raios são direcionados radialmente para uma minúscula pastilha. A superfície da pastilha é imediatamente vaporizada, fazendo-a implodir e criando temperaturas altíssimas. Deste modo, a fusão foi, na verdade, vista dentro da pastilha (embora a máquina consuma mais energia do que gera e, portanto, não seja comercialmente viável).

Do mesmo modo, pode-se imaginar uma civilização do tipo III construindo grandes fileiras de raios lasers em asteroides e luas de vários sistemas estelares. Esta bateria de lasers, então, dispararia de uma só vez, liberando uma série de raios potentes que convergem para um único ponto, criando temperaturas nas quais espaço e tempo se tornam instáveis.

Em princípio, não existe nenhum limite teórico para a quantidade de energia que se pode colocar num raio laser. Entretanto, existem problemas práticos na criação de lasers. Um dos principais é a estabilidade do material atuando como laser, que, com frequência, irá superaquecer e rachar em altas energias. (Isto pode ser remediado dirigindo o raio laser para uma explosão que ocorre apenas uma vez, como nas detonações nucleares.)

O propósito de se disparar esta fileira esférica de raios laser é aquecer uma câmara de modo que o falso vácuo é criado no interior ou implodir e comprimir um conjunto de placas até o comprimento de Planck, que é 10^{-33} centímetros. Como a distância que separa os átomos é 10^{-8} centímetros e a distância que separa os prótons e nêutrons no núcleo é 10^{-13} cm, você vê que a compressão destas placas deve ser enorme. Como a wattagem total que se pode acumular sobre um raio laser é essencialmente ilimitada, o principal problema é criar um mecanismo que seja estável o bastante para sobreviver a esta enorme compressão. (Visto que o efeito Casimir cria uma atração líquida entre as placas, temos também de acrescentar cargas às placas para impedi-las de colapsar.) Em princípio, vai se desenvolver um buraco de minhoca dentro das camadas esféricas, conectando o nosso universo moribundo a outro muito mais jovem e muito mais quente.

ETAPA OITO: CONSTRUIR UMA MÁQUINA DE IMPULSIONAR A DOBRA

Um elemento importante para montar os aparelhos descritos aqui é a capacidade

de cruzar distâncias estelares imensas. Um jeito possível de se fazer isso é usando uma máquina de impulsionar uma dobra, proposta pelo físico Miguel Alcubierre, em 1994. Uma máquina de impulsionar a dobra não altera a topologia de espaço ao fazer um furo e saltar para o hiperespaço. Ela simplesmente encolhe o espaço na sua frente enquanto expande o espaço atrás de você. Imagine caminhar por um tapete para chegar até uma mesa. Em vez de andar sobre o tapete, você poderia laçar a mesa e lentamente puxá-la até você, enrugando o tapete na sua frente. Assim, você quase não saiu do lugar; o espaço na sua frente é que encolheu.

Lembre-se de que o próprio espaço se expande mais rápido do que a velocidade da luz (visto que nenhuma informação está sendo transferida pelo espaço vazio em expansão). Similarmente, pode ser possível viajar mais rápido do que a velocidade da luz, encolhendo-se o espaço mais rápido do que a velocidade da luz. Com efeito, ao viajar para uma estrela próxima, talvez nem deixemos a Terra; simplesmente colapsaríamos o espaço na nossa frente e expandiríamos o espaço atrás de nós. Em vez de viajarmos para Alfa Centauro, a estrela mais próxima, estamos trazendo Alfa Centauro até nós.

Alcubierre mostrou que esta é uma solução viável para as equações de Einstein – o que significa que ela se encaixa nas leis da física. Mas existe um preço a pagar. Você teria de empregar grandes quantidades tanto de energia negativa quanto de energia positiva para acionar a sua nave estelar. (A energia positiva poderia ser usada para comprimir o espaço na sua frente e a energia negativa para estender a distância atrás de você.) Para usar o efeito Casimir, a fim de criar esta energia negativa, as placas teriam de ser separadas pela distância de Planck, 10^{-33} cm – pequena demais para ser obtida por meios comuns. Para construir tal nave estelar, você precisaria construir uma grande esfera e colocar os passageiros lá dentro. Nas laterais da bolha, você colocaria um anel de energia negativa ao longo do equador. Os passageiros dentro da bolha jamais sairiam do lugar, mas o espaço em frente à bolha encolheria mais rápido do que a luz, de modo que os passageiros, ao saírem da bolha, teriam chegado a uma estrela próxima.

No seu artigo original, Alcubierre mencionou que a sua solução poderia não apenas nos levar às estrelas, ela talvez tornasse possível também a viagem no tempo. Dois anos depois, o físico Allen E. Everett mostrou que se alguém tivesse duas dessas naves estelares, a viagem no tempo seria possível aplicando-se o impulso na dobra sucessivamente. Segundo o físico de Princeton, Gott: “Assim, pelo visto Gene Rodden-berry, criador de *Jornada nas estrelas*, acertou ao incluir todos aqueles episódios de viagens no tempo!”[11]

Mas uma análise posterior do físico russo Sergei Krasnikov revelou um defeito técnico na solução. Ele mostrou que o interior da nave estelar está desconectado do espaço exterior da nave, de modo que as mensagens não podem atravessar a divisa – isto é, uma vez dentro da nave você não pode mudar a sua rota. Ela tem de ser definida antes de fazer a viagem. Isto é frustrante. Em outras palavras, você simplesmente não pode girar um seletor e regular o curso para a estrela mais próxima. Mas isto significa que essa nave estelar teórica poderia ser uma ferrovia levando às estrelas um sistema interestelar no qual as naves estelares saem a intervalos regulares. Seria possível, por exemplo, construir esta ferrovia usando primeiro foguetes convencionais que viajam à velocidade subluminal para construir estações de parada em intervalos regulares entre as estrelas. Então, a nave estelar viajaria entre estas estações à velocidade superluminal com horários fixos para chegadas e partidas.

Gott escreve: “Uma supercivilização do futuro poderia querer traçar rotas de impulsão de dobra entre as estrelas para as naves estelares atravessarem, assim como poderia estabelecer elos de buracos de minhoca entre as estrelas. Uma rede destas rotas poderia ser mais fácil de criar do que outra feita de buracos de minhoca porque os impulsionadores de dobra precisariam apenas de uma alteração do espaço existente em vez da criação de novos buracos conectando regiões distantes.”

Como uma nave estelar desse tipo precisa viajar dentro do universo existente, ela não pode ser usada para deixar o universo. Não obstante, o impulso de Alcubierre poderia ajudar a construir um expediente para escapar do universo. Essa nave estelar poderia ser útil, por exemplo, na criação de cordas cósmicas em colisão mencionadas por Gott, que poderia levar uma civilização avançada de volta para o seu próprio passado, quando o seu universo era muito mais quente.

ETAPA NOVE: USAR A ENERGIA NEGATIVA DOS ESTADOS COMPRIMIDOS

No Capítulo 5, mencionei que raios laser podem criar “estados comprimidos” que podem ser usados para gerar matéria negativa, que, por sua vez, pode ser usada para abrir e estabilizar buracos de minhoca. Quando um pulso de laser potente atinge um material ótico especial, ele cria pares de fótons no seu rastro. Estes fótons intensificam e suprimem alternadamente as flutuações quânticas encontradas no vácuo, produzindo tanto pulsos de energia negativa quanto de

energia positiva. A soma destes dois pulsos de energia sempre produz em média uma energia positiva, de modo que não violamos as leis conhecidas da física.

Em 1978, o físico Lawrence Ford, da Universidade Tufts, provou três leis a que tal energia negativa deveria obedecer, e, desde então, elas vêm sendo tema de intensas pesquisas. Primeiro, Ford descobriu que a quantidade de energia negativa num pulso está inversamente relacionada com sua extensão espacial e temporal – isto é, quanto mais forte o pulso de energia negativa, mais curta a sua duração. Assim, se criarmos uma grande explosão de energia negativa com um laser para abrir um buraco de minhoca, ele só pode durar um período extremamente breve de tempo. Segundo, um pulso negativo é sempre seguido de um pulso de energia positiva de magnitude maior (de modo que a soma continue positiva). Terceiro, quanto maior o intervalo entre estes dois pulsos, maior deve ser o pulso positivo.

Segundo estas leis gerais, pode-se quantificar as condições nas quais um laser ou placas Casimir podem produzir energia negativa. Primeiro, poderíamos tentar separar o pulso de energia negativa do pulso de energia positiva subsequente disparando um raio laser para dentro de uma caixa e fechando a escotilha imediatamente depois de o pulso de energia negativa entrar. Por conseguinte, só o pulso de energia negativa teria entrado na caixa. Em princípio, imensas quantidades de energia negativa podem ser extraídas dessa maneira, seguidas de um pulso de energia positiva ainda maior (que é mantida fora da caixa pela escotilha). O intervalo entre os dois pulsos pode ser bastante longo, desde que a energia do pulso positivo seja grande. Em teoria, este parece ser o jeito ideal de gerar quantidades ilimitadas de energia negativa para uma máquina do tempo ou buraco de minhoca.

Infelizmente, existe um empecilho. O próprio ato de fechar a escotilha cria um segundo pulso de energia positiva dentro da caixa. A não ser que se tomem precauções extraordinárias, o pulso de energia negativa é eliminado. Isto permanecerá uma façanha tecnológica para uma civilização avançada resolver – separar um forte pulso de energia negativa do pulso de energia positiva subsequente sem que um pulso secundário elimine o da energia negativa.

Estas três leis podem ser aplicadas ao efeito Casimir. Se produzirmos um buraco de minhoca cujo tamanho seja de 1 metro, precisamos ter energia negativa concentrada numa faixa de não mais que 10^{-22} metros (um milionésimo do tamanho de um próton). Mais uma vez, só uma civilização extremamente avançada seria capaz de criar a tecnologia necessária para manipular distâncias incrivelmente pequenas ou intervalos de tempo incrivelmente minúsculos.

ETAPA DEZ: ESPERAR POR TRANSIÇÕES QUÂNTICAS

Como vimos no Capítulo 10, seres inteligentes enfrentando o gradual resfriamento do seu universo talvez tenham de pensar mais lentamente ou hibernar por longos períodos de tempo. Este processo de retardar a velocidade do pensamento poderia continuar por trilhões e trilhões de anos, tempo suficiente para a ocorrência de eventos quânticos. Normalmente, podemos desprezar a criação espontânea de universos bolhas e transições para outros universos quânticos porque seriam eventos extremamente raros. Entretanto, no estágio 5, os seres inteligentes talvez pensem tão lentamente que esses eventos quânticos poderiam se tornar relativamente comuns. No seu próprio tempo subjetivo, a velocidade do seu pensamento poderia lhes parecer muito normal, mesmo que a escala de tempo real fosse tão demorada que os eventos quânticos se tornassem uma ocorrência normal.

Assim sendo, esses seres só teriam de esperar até que aparecessem buracos de minhoca e ocorressem transições quânticas para escapar para outro universo. (Embora esses seres pudessem ver as transições quânticas como lugares comuns, um problema aqui é que estes eventos quânticos são totalmente imprevisíveis; seria difícil fazer a transição para outro universo sem saber exatamente quando o portal abre ou para onde ele leva. Estes seres talvez tivessem de aproveitar a oportunidade para deixar o universo assim que um buraco de minhoca se abrisse, antes que tivessem uma chance de analisar plenamente as suas propriedades.)

ETAPA ONZE: A ÚLTIMA ESPERANÇA

Suponha, por enquanto, que todos os futuros experimentos com buracos de minhoca e buracos negros enfrentem um problema aparentemente insuperável: que os únicos buracos de minhoca estáveis sejam de tamanho microscópico a subatômico. Suponha também que uma viagem real através de um buraco de minhoca possa impor a nossos corpos tensões inaceitáveis, mesmo dentro de um recipiente protetor. Quaisquer desafios, como forças de maré intensas, campos de radiação, fragmentos de rocha prestes a cair, se mostrariam letais. Se é este o caso, a futura vida inteligente no nosso universo teria só mais uma opção: injetar informações suficientes no novo universo para recriar a nossa civilização do outro lado do buraco de minhoca.

Na natureza, quando organismos vivos têm de enfrentar ambientes hostis, às vezes inventam métodos engenhosos para sobreviver. Alguns mamíferos

hibernam. Alguns peixes e sapos têm substâncias químicas anticongelantes circulando em seus fluidos corporais que lhes permitem ser congelados vivos. Os fungos evitam a extinção transformando-se em esporos. Do mesmo modo, os seres humanos teriam de encontrar um jeito de alterar sua existência física para sobreviverem à viagem para outro universo.

Pense no carvalho, que espalha sementes minúsculas em todas as direções. As sementes são: (a) pequenas, resistentes e compactas; (b) encerram todo o conteúdo do DNA da árvore; (c) são projetadas para viajar a uma certa distância da árvore mãe; (d) contêm alimento suficiente para começarem o processo de regeneração numa terra distante; (e) enraízam-se consumindo nutrientes e energia do solo e alimentam-se da nova terra. Similarmente, uma civilização poderia tentar imitar a natureza enviando suas “sementes” através do buraco de minhoca, usando a nanotecnologia mais avançada disponível daqui a bilhões de anos, para copiar cada uma destas importantes propriedades.

Como Stephen Hawking disse: “Parece... que a teoria quântica permite viagens no tempo microscopicamente.”[12] Se Hawking estiver certo, os membros de uma civilização avançada poderiam decidir alterar o seu ser físico em algo que sobrevivesse à árdua jornada de volta no tempo ou para outro universo, fundindo carbono com silício e reduzindo sua consciência a puras informações. Em última análise, nossos corpos fundamentados no carbono podem muito bem ser frágeis demais para suportar o cansaço físico de uma jornada de tal magnitude. No futuro distante, talvez sejamos capazes de fundir a nossa consciência com nossas criações robóticas, usando engenharia de DNA avançada, nanotecnologia e robótica. Pode parecer bizarro pelos padrões atuais, mas uma civilização de bilhões a trilhões de anos no futuro poderia achar que esta é a única maneira de sobreviver.

Eles poderiam precisar fundir seus cérebros e personalidades diretamente em máquinas. Isto poderia ser feito de vários modos. Alguém poderia criar um programa de computador sofisticado que fosse capaz de duplicar todos os nossos processos de pensamento, de modo a ter uma personalidade idêntica à nossa. Mais ambicioso é o programa defendido por Hans Moravec, da Universidade Carnegie-Mellon. Ele afirma que, no futuro distante, talvez sejamos capazes de reproduzir, neurônio por neurônio, a arquitetura de nossos cérebros em transistores de silício. Cada conexão neural no cérebro seria substituída por um transistor correspondente que duplicaria a função do neurônio dentro do robô.[13]

Como as forças de maré e campos de radiação provavelmente seriam intensas, as futuras civilizações teriam de transportar o mínimo absoluto de combustível, proteção e nutrientes necessários para recriar nossa espécie do outro lado de um

buraco de minhoca. Usando a nanotecnologia, talvez fosse possível enviar cadeias microscópicas através de um buraco de minhoca dentro de um aparelho não maior do que uma célula.

Se o buraco de minhoca fosse muito pequeno, na escala de um átomo, os cientistas teriam de enviar grandes nanotubos feitos de átomos individuais, codificados com vastas quantidades de informações suficientes para recriar todas as espécies do outro lado. Se o buraco de minhoca fosse apenas do tamanho de uma partícula subatômica, os cientistas teriam de imaginar um jeito de enviar núcleos através do buraco de minhoca que agarrariam elétrons do outro lado e se reconstituiriam em átomos e moléculas. Se um buraco de minhoca fosse ainda menor do que isso, talvez raios laser feitos de raios X ou raios gama de comprimento de onda curta poderiam ser usados para enviar códigos sofisticados através do buraco de minhoca, dando instruções sobre como reconstruir a civilização do outro lado.

O objetivo dessa transmissão seria construir do outro lado do buraco de minhoca um “nanorrobô” microscópico, cuja missão seria encontrar um ambiente adequado para reproduzir a nossa civilização. Como poderia ser construído numa escala atômica, não necessitaria de enormes foguetes ou de grande quantidade de combustível para encontrar um planeta apropriado. De fato, ele poderia facilmente se aproximar da velocidade da luz porque é relativamente fácil enviar partículas subatômicas próximo da velocidade da luz usando campos elétricos. Também, não seriam necessários equipamentos de respiração artificial ou outros aparelhos desajeitados, visto que o principal conteúdo do nanorrobô é a informação pura necessária para regenerar a raça.

Uma vez tendo o nanorrobô encontrado um novo planeta, ele criaria uma grande fábrica usando a matéria-prima já disponível no planeta para construir muitas réplicas dele mesmo e fazer um grande laboratório de clonagem. As sequências de DNA necessárias poderiam ser produzidas neste laboratório e, em seguida, injetadas em células para começar o processo de regeneração de organismos inteiros e, no final, de espécies inteiras. Estas células no laboratório então se desenvolveriam em seres totalmente adultos, com a memória e a personalidade do humano original colocadas no cérebro.

Em certo sentido, este processo seria semelhante a injetar o nosso DNA (o conteúdo total de informações de uma civilização do tipo III ou mais) numa “célula-ovo”, contendo as instruções genéticas capazes de recriar um embrião do outro lado. O “ovo fertilizado” seria compacto, robusto e móvel, e ainda assim conteria todas as informações necessárias para recriar uma civilização do tipo III. Uma célula humana típica contém apenas 30 mil genes, combinados em 3 bilhões de pares de bases de DNA, mas esta informação concisa é suficiente para

recriar um ser humano inteiro, utilizando os recursos encontrados fora do esperma (a nutrição proporcionada pela mãe). Do mesmo modo, o “ovo cósmico” consistiria na totalidade de informações necessárias para regenerar uma civilização avançada; os recursos para isto (matéria-prima, solventes, metais e assim por diante) seriam encontrados do outro lado. Deste modo, uma civilização avançada, como a do tipo III Q, poderia usar a sua formidável tecnologia para enviar informação suficiente (cerca de 10^{24} bits de informação) através de um buraco de minhoca para recriar a sua civilização do outro lado.

Quero enfatizar que cada etapa que mencionei neste processo está tão distante da capacidade atual que deve ser entendida como ficção científica. Mas daqui a bilhões de anos no futuro, para uma civilização do tipo III Q prestes a se extinguir, talvez seja o único caminho para a salvação. Certamente, não existe nada nas leis da física ou da biologia que impeça que isto aconteça. O que quero dizer é que a morte derradeira do nosso universo talvez não signifique, necessariamente, a morte da inteligência. É claro que se a capacidade de transferir inteligência de um universo para outro é possível, fica em aberto a possibilidade de que uma forma de vida de outro universo, enfrentando o seu próprio grande congelamento, possa tentar mergulhar em alguma parte distante do nosso próprio universo, onde é mais quente e mais hospitaleiro.

Em outras palavras, a teoria de campo unificada, em vez de ser uma curiosidade elegante, porém inútil, pode, no final, proporcionar um projeto para a sobrevivência de vida inteligente no universo.

CAPÍTULO DOZE

ALÉM DO MULTIVERSO

A Bíblia nos ensina como ir para o céu, mas não como o céu se comporta.
– Cardeal Baronius, repetido por Galileu durante o seu julgamento

Por que existe alguma coisa, em vez de nada? A inquietação que mantém funcionando o ininterrupto relógio da metafísica é a ideia de que a não existência do mundo é tão possível quanto a sua existência.
– William James

A mais bela experiência que podemos ter é a do misterioso. É a emoção fundamental que está na origem da verdadeira arte e da verdadeira ciência. Quem não sabe disso e não mais consegue se surpreender, se maravilhar, está morto, e seus olhos se apagaram.
– Albert Einstein

Em 1863, Thomas Huxley escreveu: “A maior de todas as questões para a humanidade, o problema que está por trás de todos os outros e é mais interessante do que qualquer um deles, é a da determinação do lugar do homem na natureza e a sua relação com o cosmo.”[1]

Huxley ficou famoso como o “buldogue de Darwin”, o homem que defendeu ferozmente a teoria da evolução para uma Inglaterra vitoriana profundamente conservadora. A sociedade inglesa via a humanidade orgulhosa no centro da criação; não só o sistema solar era o centro do universo, mas a humanidade era o triunfo da criação de Deus, o pináculo da obra divina. Deus nos havia criado à Sua própria imagem.

Ao desafiar abertamente esta ortodoxia religiosa, Huxley teve de defender a teoria de Darwin contra a artilharia disparada pelo sistema religioso preponderante, ajudando portanto a instaurar uma compreensão mais científica do nosso papel na árvore da vida. Hoje, reconhecemos que, entre os gigantes da ciência, Newton, Einstein e Darwin prestaram o bom serviço de ajudar a definir o nosso lugar correto no cosmo.

Cada um deles engalfinhou-se com as implicações teológicas e filosóficas de seu trabalho na determinação do nosso papel no universo. Na conclusão de *Principia*, Newton declara: “O belíssimo sistema do sol, planetas e cometas só poderia proceder da deliberação e domínio de um Ser inteligente e poderoso.” Se Newton descobriu as leis do movimento, então deveria haver um legislador

divino.

Einstein também estava convencido da existência do que chamou de o Velho, mas um velho que não se metia nos assuntos dos homens. O seu objetivo, em vez de glorificar Deus, era "ler a mente de Deus". Ele dizia: "Quero saber como Deus criou o mundo. Não estou interessado neste ou naquele fenômeno. Quero conhecer o pensamento de Deus. O resto são detalhes."[2] Einstein justificou o seu intenso interesse por estas questões teológicas concluindo. "A ciência sem a religião é manca. Mas a religião sem a ciência é cega."[3]

Mas Darwin estava incuravelmente dividido sobre a questão do papel da humanidade no universo. Embora receba o crédito como um dos que destronaram a humanidade do centro do universo biológico, ele confessou em sua autobiografia "a extrema dificuldade, ou melhor, impossibilidade de conceber este imenso e maravilhoso universo, incluindo o homem com sua capacidade de ver o passado e o futuro distantes, como o resultado do acaso cego ou da necessidade".[4] Ele confidenciou a um amigo: "Minha teologia é simplesmente uma confusão."[5]

Infelizmente, a "determinação do lugar do homem na natureza e a sua relação com o cosmo" tem sido muito arriscada, especialmente para aqueles que ousaram desafiar o rígido dogma da ortodoxia dominante. Não foi à toa que Copérnico escreveu seu livro pioneiro, *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (*Sobre a revolução das órbitas celestes*), em seu leito de morte, em 1543, fora do alcance mórbido da Inquisição. Foi inevitável também que Galileu, por tanto tempo protegido por seus poderosos patronos da família Médici, acabasse alvo da ira do Vaticano por popularizar um instrumento que revelava um universo que contradizia tão nitidamente a doutrina da Igreja: o telescópio.

A mistura de ciência, religião e filosofia é, na verdade, uma infusão poderosa, tão volátil que o grande filósofo Giordano Bruno foi queimado na fogueira, em 1600, nas ruas de Roma, por se recusar a repudiar sua crença de que havia um número infinito de planetas nos céus, abrigando um número infinito de seres vivos. Ele escreveu: "Assim é a excelência de Deus exaltada e a grandeza do seu reino manifestada; ele é glorificado não em um, mas em incontáveis sóis; não numa única terra, num único mundo, mas em milhares de milhares, eu digo em uma infinidade de mundos."[6]

O pecado de Galileu e de Bruno não foi o de terem ousado predizer as leis dos céus; seu verdadeiro pecado foi o de terem destronado a humanidade do seu exaltado lugar no centro do universo. Levaria mais de 350 anos, até 1992, para o Vaticano emitir um tardio pedido de desculpas a Galileu. Nenhuma satisfação jamais foi dada a Bruno.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Desde Galileu, uma série de revoluções derrubaram a nossa concepção do universo e do nosso papel nele. Durante a Idade Média, ele era visto como um lugar escuro e proibido. A Terra era como um pequeno palco plano, cheio de corrupção e pecado, encerrado numa misteriosa esfera celeste onde presságios como cometas aterrorizavam reis e camponeses. E, se fôssemos deficientes em nosso louvor a Deus e à Igreja, enfrentaríamos a ira dos críticos teatrais, dos hipócritas da Inquisição e de seus odiosos instrumentos de persuasão.

Newton e Einstein nos libertaram da superstição e do misticismo do passado. Newton nos deu as leis mecânicas precisas que regiam todos os corpos celestes, inclusive o nosso. As leis eram tão precisas, na verdade, que os seres humanos se tornaram meros papagaios recitando as suas frases. Einstein revolucionou o modo como víamos o palco da vida. Não só era impossível definir uma medida uniforme de tempo e espaço, como o próprio palco era curvo. Não só o palco foi substituído por um lençol elástico esticado, como também estava se expandindo.

A revolução quântica nos deu um quadro ainda mais bizarro do mundo. Por um lado, a derrubada do determinismo significou que as marionetes podiam cortar as suas cordas e ler o seu próprio texto. O livre-arbítrio foi restaurado, mas ao preço de ter resultados múltiplos e incertos. Isto significou que os atores poderiam estar em dois lugares ao mesmo tempo e podiam desaparecer e reaparecer. Ficou impossível dizer com certeza onde ou quando um ator estava no palco.

Agora, o conceito do multiverso nos deu outra mudança de paradigma, em que a própria palavra “universo” poderia se tornar obsoleta. Com o multiverso, existem palcos paralelos, um sobre o outro, ligados por alçapões e túneis ocultos. Os palcos, na verdade, dão origem a outros palcos, num interminável processo de gênese. Em cada palco, surgem novas leis da física. Talvez apenas num punhado deles encontrem-se as condições de vida e consciência.

Hoje, somos atores vivendo o ato 1, no início da exploração das maravilhas cósmicas deste palco. No ato 2, se não destruirmos o nosso planeta com guerras e poluição, talvez sejamos capazes de deixar a Terra e explorar as estrelas e outros corpos celestes. Mas estamos agora tomando consciência de que existe a cena final, o ato 3, quando a peça termina e todos os atores morrem. No ato 3, o palco fica tão frio que a vida se torna impossível. A única salvação é abandoná-lo totalmente através de um alçapão e começar de novo uma nova peça, num novo palco.

O PRINCÍPIO COPERNICANO VERSUS O PRINCÍPIO ANTRÓPICO

Nitidamente, na transição do misticismo da Idade Média para a física quântica de hoje, o nosso papel, o nosso lugar no universo, mudou de forma drástica a cada revolução científica. Nosso mundo vem se expandindo exponencialmente, obrigando-nos a mudar o conceito que temos de nós mesmos. Quando vejo esta progressão histórica, fico às vezes dominado por duas emoções contraditórias, conforme vejo o número aparentemente ilimitado de estrelas no firmamento celeste ou contemplo a infinidade de formas de vida na Terra. Por um lado, sinto-me diminuído diante da imensidão do universo. Ao contemplar a vasta extensão vazia, Blaise Pascal, certa vez, escreveu: "O eterno silêncio desses espaços infinitos aterroriza-me."[7] Por outro, não posso deixar de ficar hipnotizado com a esplêndida diversidade da vida e a primorosa complexidade de nossa existência biológica.

Hoje, quando se trata de definir cientificamente nosso papel no universo, existem, em certo sentido, dois pontos de vista filosóficos extremos representados na comunidade física: o princípio copernicano e o princípio antrópico.

O princípio copernicano afirma que não há nada de especial no nosso lugar no universo. (Alguns gaiatos o chamaram de princípio da mediocridade.) Até agora, todas as descobertas astronômicas parecem justificar este ponto de vista. Não só Copérnico baniu a Terra do centro do universo, como Hubble deslocou dali toda a Via Láctea, dando-nos, em vez disso, um universo de bilhões de galáxias em expansão. A recente descoberta de matéria escura e energia escura sublinha o fato de que os elementos químicos mais pesados que compõem o nosso corpo compreendem apenas 0,03 por cento do conteúdo total de matéria/energia do universo. Com a teoria da inflação, precisamos considerar que o universo visível é como um grão de areia inserido num universo plano, muito maior, e que este universo talvez esteja constantemente gerando novos universos. E, finalmente, se a teoria M tiver êxito, devemos enfrentar a possibilidade de que até a dimensionalidade familiar de espaço e tempo deve ser expandida a onze dimensões. Não somente fomos banidos do centro do universo, como talvez descubramos que até o universo visível não passa de uma fração mínima de um multiverso muito maior.

Diante da enormidade desta compreensão, temos de nos lembrar do poema de Stephen Crane, que escreveu:

Um homem disse ao universo:

“Senhor, eu existo!”
“Entretanto”, respondeu o universo,
“isto não gerou em mim
Um sentido de obrigação.”[8]

(Faz lembrar do arremedo de ficção científica, o *Guia do mochileiro das galáxias*, de Douglas Adams, no qual existe um aparelho chamado Vórtice de Perspectiva Total, que garante transformar qualquer pessoa de mente sadia num lunático delirante. Dentro da câmara, tem um mapa do universo inteiro com uma setinha que diz: “Você está aqui.”)

Mas, no outro extremo, temos o princípio antrópico que nos faz perceber que um conjunto milagroso de “acidentes” torna possível a consciência neste nosso universo tridimensional. Existe uma faixa ridiculamente estreita de parâmetros que torna a vida inteligente uma realidade, e, por acaso, vivemos nela. A estabilidade do próton, o tamanho das estrelas, a existência de elementos mais pesados, e assim por diante, tudo parece estar finamente sintonizado para permitir formas complexas de vida e consciência. Pode-se discutir se esta fortuita circunstância é intencional ou um acidente, mas ninguém pode duvidar da intrincada sintonia necessária para a vida ser possível.

Stephen Hawking observa: “Se a taxa de expansão um segundo após o Big Bang tivesse uma parte para 100 mil milhões menor, [o universo] teria recolapsado antes de ter chegado ao seu tamanho atual... A probabilidade de um universo como o nosso não surgir de algo como o Big Bang é enorme. Acho que existem claramente implicações religiosas.”[9]

Com frequência, não damos o devido valor à vida e à consciência. E esquecemos de que algo tão simples como a água em estado líquido é uma das substâncias mais preciosas no universo, que apenas a Terra (e talvez Europa, uma lua de Júpiter), possui água líquida à vontade no sistema solar, talvez até mesmo neste setor da galáxia. É também provável que o cérebro humano seja o objeto mais complexo que a natureza criou no sistema solar, talvez até mesmo na estrela mais próxima. Quando vemos as fotos vívidas do terreno árido de Marte ou Vênus, ficamos chocados com o fato de estas superfícies serem totalmente desertas, sem cidades nem luzes ou complexas substâncias químicas orgânicas da vida. Inúmeros mundos existem no espaço profundo, privados de vida e, menos ainda, de inteligência. Isso deveria nos fazer avaliar como a vida é delicada, e que é um milagre ela florescer na Terra.

O princípio copernicano e o princípio antrópico são, em certo sentido, perspectivas opostas que limitam os extremos da nossa existência e nos ajudam a compreender o nosso verdadeiro papel no universo. Enquanto o princípio copernicano nos força a confrontar a pura enormidade do universo, e talvez do

multiverso, o princípio antrópico nos obriga a perceber como são raras a vida e a consciência.

Mas, em última análise, o debate entre o princípio copernicano e o princípio antrópico não pode determinar o nosso papel no universo a não ser que vejamos esta questão por uma perspectiva ainda mais ampla, do ponto de vista da teoria quântica.

O SIGNIFICADO QUÂNTICO

O mundo da ciência quântica esclarece bastante a questão do nosso papel no universo, mas de um ponto de vista diferente. Se apoiarmos a interpretação de Wigner para o problema do gato de Schrödinger, então nós necessariamente vemos a mão da consciência por toda a parte. A infinita cadeia de observadores, cada um vendo o observador anterior, no fim leva a um observador cósmico, talvez o próprio Deus. Neste quadro, o universo existe porque existe uma divindade que o observa. E se a interpretação de Wheeler estiver correta, então o universo inteiro está dominado pela consciência e a informação. Neste quadro, a consciência é a força dominante que determina a natureza da existência.

O ponto de vista de Wigner, por sua vez, levou Ronnie Knox a escrever o seguinte poema sobre o encontro de um cético com Deus, ponderando se uma árvore existe no pátio quando não há ninguém para observá-la:

Era uma vez um homem que disse, "Deus
Deve achar estranhíssimo
Se descobrir que esta árvore
Continua existindo
Quando não há ninguém no pátio".[10]

Um gaiato anônimo então redigiu a seguinte réplica:

Caro senhor, estranha a sua surpresa
Estou sempre no pátio
E é por isso que a árvore
Continuará existindo,
Visto que observada pelo Seu sinceramente – Deus

Em outras palavras, as árvores existem no pátio porque um observador quântico está sempre ali para colapsar a função de onda – o próprio Deus.

A interpretação de Wigner coloca a questão da consciência no centro dos fundamentos da física. Ele ecoa as palavras do grande astrônomo James Jeans, que, certa vez, escreveu: "Cinquenta anos atrás, o universo era visto como uma

máquina... Quando ultrapassamos os extremos de tamanho em qualquer direção – seja para o cosmo como um todo ou para os íntimos recessos do átomo –, a interpretação mecânica da Natureza falha. Chegamos a entidades e fenômenos que em nenhum sentido são mecânicos. Para mim, eles parecem menos sugestivos de processos mecânicos do que de mentais; o universo parece estar mais próximo de uma grande ideia do que de uma grande máquina.”[11]

Esta interpretação assume, talvez, a sua forma mais ambiciosa na teoria de Wheeler. “Não é só que estejamos adaptados ao universo. O universo também se adaptou a nós.”[12] Em outras palavras, em certo sentido, nós criamos a nossa própria realidade fazendo observações. Ele chama a isto de “gênese por observação”. Wheeler afirma que vivemos num “universo participativo”.

Estas mesmas palavras são ecoadas pelo biólogo laureado com um prêmio Nobel, George Wald, que escreveu: “Seria triste ser átomo num universo sem físicos. E físicos são feitos de átomos. Um físico é o jeito de o átomo saber sobre os átomos.”[13] O ministro unitarista Gary Kowalski resume a sua crença dizendo: “O universo, pode-se dizer, existe para celebrar a si mesmo e revelar a sua própria beleza. E se a raça humana é uma faceta do cosmo que toma consciência de si mesmo, o nosso propósito deve certamente ser o de preservar e perpetuar o nosso mundo assim como estudá-lo, não o de saquear e destruir o que levou tanto tempo para ser produzido.”[14]

Nesta linha de raciocínio, o universo tem uma finalidade: *produzir criaturas conscientes como nós, capazes de observá-lo para que ele exista*. De acordo com tal perspectiva, a própria existência do universo depende de sua capacidade de gerar criaturas inteligentes que possam observá-lo e portanto colapsar a sua função de onda.

Você pode se satisfazer com a interpretação de Wigner para a teoria quântica. Mas existe a interpretação alternativa, a dos muitos mundos, que nos dá uma ideia totalmente diferente do papel da humanidade no universo. Nas interpretações dos muitos mundos, o gato de Schrödinger pode estar simultaneamente morto e vivo, simplesmente porque o próprio universo se dividiu em dois.

O PROPÓSITO NO MULTIVERSO

É fácil se perder na infinita multidão de universos na teoria dos muitos mundos. As implicações morais destes universos paralelos quânticos são exploradas no conto de Larry Niven: “Todas as miríades de caminhos”. Na trama, o tenente

detetive Gene Trimble investiga uma série de misteriosos suicídios que acontecem ao mesmo tempo. De repente, por toda a cidade, pessoas sem histórico anterior de problemas mentais estão pulando de pontes, estourando os miolos ou até cometendo assassinatos em massa. O mistério aumenta quando Ambrose Harmon, o bilionário fundador da Crosstime Corporation, pula do trigésimo sexto andar do seu luxuoso prédio depois de ganhar quinhentos dólares na mesa de pôquer. Rico, poderoso e bem relacionado, ele tinha tudo para continuar vivendo; seu suicídio não faz sentido. Mas Trimble acaba encontrando um padrão. Vinte por cento dos pilotos da Crosstime Corporation se suicidaram; na verdade, os suicídios começaram um mês depois da fundação da empresa.

Pesquisando mais fundo, ele descobre que Harmon herdou sua imensa fortuna dos avós e a esbanjou apoiando causas levianas. Ele poderia ter perdido tudo, não fosse por uma jogada que deu resultado. Ele reuniu um punhado de físicos, engenheiros e filósofos para investigar a possibilidade de rotas paralelas no tempo. Finalmente, eles projetaram um veículo que podia entrar numa nova linha do tempo, e o piloto prontamente trouxe de volta uma nova invenção dos Estados Confederados da América. A Crosstime então financiou centenas de missões para linhas do tempo paralelas, onde descobririam novas invenções que pudessem ser trazidas de volta e patenteadas. Em breve, a Crosstime se tornou uma empresa de bilhões de dólares, detentora das patentes dos inventos mais importantes em nível internacional do nosso tempo. Pelo visto, a Crosstime seria a empresa de maior sucesso na sua era, com Harmon na administração.

Cada linha do tempo, segundo descobriram, era diferente. Eles encontraram o Império Católico, a América Ameríndia, a Rússia Imperial e muitos mundos radioativos, mortos, que tinham acabado na guerra nuclear. Mas eles acabam achando algo muito perturbador: cópias deles mesmos, vivendo uma vida quase idêntica à que eles levam, mas com um toque bizarro. Nestes mundos, não importa o que eles façam, nada acontece; por mais que trabalhem, podem realizar seus sonhos mais fantásticos ou viver o seu pesadelo mais assustador. Independentemente do que façam, em alguns universos eles são bem-sucedidos e em outros, um fracasso total. Nada importa, existe um número infinito de cópias deles mesmos que tomam a decisão oposta e sofrem todas as consequências possíveis. Por que não roubar um banco se, em algum universo, você sai impune?

Trimble pensa: “Não existia acaso em lugar algum. Todas as decisões eram tomadas das duas maneiras. Para cada escolha sensata que lhe exigia um esforço enorme, você fazia todas as outras também. E assim as coisas seguiam, durante toda a história.” Uma profunda desesperança toma conta de Trimble quando ele chega à triste conclusão: num universo onde tudo é possível, nada mais faz

sentido moralmente. Ele entra em desespero, percebendo que, no final, não temos controle sobre nossos destinos, que seja lá o que decidirmos fazer, o resultado não tem importância.

Ele acaba resolvendo seguir Harmon.[15] Pega uma arma e aponta para a própria cabeça. Mas, mesmo quando ele puxa o gatilho, existe um número infinito de universos nos quais a arma falha, a bala acerta o teto, mata o detetive e assim por diante. A decisão final de Trimble é representada num número infinito de modos num número infinito de universos.

Quando imaginamos o multiverso quântico, como Trimble no conto, nós nos vemos diante da possibilidade de que, embora nossos eus paralelos que vivem em universos quânticos diferentes possam ter exatamente o mesmo código genético, em momentos cruciais da vida nossas oportunidades, nossos mentores e nossos sonhos talvez nos conduzam por caminhos diferentes, levando a histórias de vida diferentes e destinos diferentes.

Uma forma deste dilema, na verdade, está prestes a nos acontecer. É só uma questão de tempo, talvez algumas décadas, para que a clonagem genética de pessoas se torne um fato comum da vida. Embora clonar um ser humano seja extremamente difícil (na verdade, ninguém ainda clonou totalmente um primata, muito menos um ser humano) e as questões éticas sejam profundamente perturbadoras, é inevitável que, em algum momento, isso aconteça. E, quando acontecer, surge a questão: os nossos clones têm alma? *Nós* somos responsáveis pelos atos de nossos clones? Num universo quântico, teríamos um número infinito de clones quânticos. Visto que alguns dos nossos clones poderiam cometer atos malignos, somos então responsáveis por eles? A nossa alma sofre com as transgressões de nossos clones quânticos?

Existe uma solução para esta crise existencial quântica. Se olharmos superficialmente o multiverso de mundos infinitos, talvez fiquemos deslumbrados com a atordoante aleatoriedade do destino, mas dentro de cada mundo as leis básicas da causalidade ainda dominam. Na teoria do multiverso, proposta pelos físicos, cada universo distinto obedece a leis semelhantes às newtonianas na escala macroscópica, portanto podemos viver nossa vida confortavelmente, sabendo que nossos atos têm consequências em grande parte previsíveis. Dentro de cada universo, as leis da causalidade, em média, aplicam-se rigidamente. Em cada universo, se cometermos um crime, então é bem provável que iremos para a cadeia. Podemos conduzir nossos negócios felizes e inconscientes de todas as realidades paralelas que coexistem conosco.

Isso me faz lembrar a história apócrifa que os físicos às vezes contam. Um dia, um físico russo foi levado para Las Vegas. Ele ficou deslumbrado com toda aquela opulência e devassidão capitalista que a cidade do pecado tinha a

oferecer. Foi imediatamente para as mesas de jogo e apostou todo o seu dinheiro de uma só vez. Quando lhe disseram que esta era uma estratégia de jogo tola, que contradizia as leis da matemática e das probabilidades, ele retrucou: “Sim, tudo isso é verdade, mas num universo quântico, eu serei rico!” O físico russo talvez estivesse certo e em algum mundo paralelo pudesse estar usufruindo de uma riqueza além de sua imaginação. Mas, neste universo em particular, ele perdeu e ficou sem um tostão. E tem de sofrer as consequências.

O QUE OS FÍSICOS PENSAM SOBRE O PROPÓSITO DO UNIVERSO

O debate sobre o sentido da vida ficou ainda mais agitado com as provocadoras declarações de Steven Weinberg em seu livro *Os três primeiros minutos*. Ele escreve: “Quanto mais o universo parece compreensível, mais ele parece sem sentido... O esforço para compreender o universo é uma das poucas coisas que ergue a vida humana um pouco acima do nível da farsa e lhe dá um pouco da graça da tragédia.”[16] Weinberg confessou que, de todas as frases que escreveu, esta despertou a reação mais acalorada. Ele mais tarde gerou outra controvérsia com seu comentário: “Com ou sem religião, as pessoas boas podem se comportar bem e as ruins, fazer maldades; mas para que as pessoas boas façam maldades – para isso é preciso a religião.”[17]

Weinberg, pelo visto, sente um certo prazer diabólico em provocar agitação, divertindo-se com as pretensões daqueles que dizem entender alguma coisa sobre o sentido cósmico do universo. “Durante muitos anos fui um ignorante entusiasmado em questões filosóficas”, confessa ele.[18] Como Shakespeare, ele acredita que o mundo inteiro é um palco, “mas a tragédia não está no roteiro. A tragédia é que não existe um roteiro”.[19]

Weinberg espelha as palavras do colega cientista Richard Dawkins, de Oxford, um biólogo, que proclama: “Num universo de forças físicas cegas... algumas pessoas vão se magoar e outras terão sorte, e você não vai encontrar nenhuma razão nisso, nem justiça. O universo que observamos tem exatamente as propriedades que deveríamos esperar se, no fundo, não existe nenhum plano, nenhum propósito, nenhum mal e nenhum bem, nada além da cega e implacável indiferença.”[20]

Em essência, Weinberg está propondo um desafio. Se as pessoas acreditam que o universo tem uma finalidade, então qual é ela? Quando os astrônomos

olham a vastidão do cosmo, com estrelas gigantes muito maiores do que o nosso Sol nascendo e morrendo num universo que vem se expandindo explosivamente há bilhões de anos, é difícil ver como tudo isso poderia ter sido combinado exatamente para dar um sentido para a humanidade que mora num planetinha girando em torno de uma estrela obscura.

Embora suas declarações tenham gerado muito ardor, pouquíssimos cientistas se levantaram para contestá-las. Mas, quando Alan Lightman e Roberta Brawer, entrevistando um conjunto de cosmólogos importantes, perguntaram se eles concordavam com Weinberg, curiosamente apenas uns poucos aceitaram sua avaliação bastante desanimadora do universo. Uma cientista que ficou firme ao lado de Weinberg foi Sandra Faber, do Observatório Lick e da Universidade da Califórnia, em Santa Cruz, que disse: "Não acredito que a terra foi criada para as pessoas. Foi um planeta criado por processos naturais e, como parte da continuação desses processos naturais, surgiu a vida e a vida inteligente. E, exatamente do mesmo modo, acho que o universo foi criado a partir de algum processo natural, e o nosso surgimento nele foi um resultado totalmente natural de leis físicas na nossa porção particular dele. Implícito na questão, eu penso, é que existe alguma força motriz que tem um propósito além da existência humana. Não acredito nisso. Portanto, acho que basicamente concordo com Weinberg que isso não faz sentido do ponto de vista humano."[21]

Mas um grupo ainda maior de cosmólogos achava que Weinberg estava errado, que o universo tinha uma finalidade, mesmo que não pudessem sistematizá-la.

Margaret Geller, professora da Universidade de Harvard, disse: "Acho que a minha visão de vida é que você vive a sua vida, e ela é curta. O importante é ter a experiência mais rica possível. É isso que estou tentando fazer. Estou tentando fazer algo criativo. Tento educar as pessoas."[22]

E alguns deles viram mesmo um sentido do universo na obra de Deus. Don Page, da Universidade de Alberta, ex-aluno de Stephen Hawking, disse: "Sim, eu diria que definitivamente existe um propósito. Não conheço todos os propósitos, mas acho que um deles foi o de Deus criar o homem para ser companheiro de Deus. Um propósito maior talvez seja o de que a criação de Deus glorificaria a Deus." Ele vê a mão de Deus até nas leis abstratas da física quântica: "Em certo sentido, as leis da física parecem análogas à gramática e à linguagem que Deus escolheu usar."

Charles Misner, da Universidade de Maryland, um dos pioneiros na análise da teoria da relatividade geral de Einstein, concorda com Page: "Sinto que a religião trata de coisas muito graves, como a existência de Deus e a fraternidade

entre os homens, que são verdades sérias que um dia aprenderemos a valorizar talvez numa linguagem diferente, numa escala diferente... Portanto, penso que existam verdades reais aqui, e na lógica a majestade do universo faz sentido, e devemos respeitar e admirar o Criador.”[23]

A questão do Criador levanta a dúvida: a ciência pode dizer alguma coisa sobre a existência de Deus? O teólogo Paul Tillich disse, certa vez, que os físicos são os únicos cientistas que podem pronunciar a palavra “Deus” sem corar.[24] Na verdade, os físicos são os únicos cientistas que tentam resolver a maior das dúvidas da humanidade: existe um grande projeto? Em caso afirmativo, existe um projetista? Qual o melhor caminho para a verdade: a razão ou a revelação?

A teoria das cordas nos permite ver as partículas subatômicas como notas numa corda vibrando; as leis da química correspondem às melodias que se pode tocar nestas cordas; as leis da física correspondem às leis da harmonia que governam estas cordas; o universo é uma sinfonia de cordas; e a mente de Deus pode ser vista como música cósmica vibrando no hiperespaço. Se esta analogia é válida, deve-se fazer a seguinte pergunta: existe um compositor? Alguém projetou a teoria para permitir a riqueza de universos possíveis que vemos na teoria das cordas? Se o universo é como um relógio afinado, existe um relojoeiro?

Neste sentido, a teoria das cordas lança alguma luz sobre a questão: Deus teve escolha? Sempre que Einstein estava criando suas teorias cósmicas, ele perguntava, como eu teria projetado o universo? Ele tendia para a ideia de que talvez Deus não tivesse opção. A teoria das cordas parece justificar esta abordagem. Quando combinamos a relatividade com a teoria quântica, encontramos teorias cheias de falhas ocultas, mas fatais: divergências que explodem e anomalias que estragam as simetrias da teoria. Só pela incorporação de poderosas simetrias é que estas divergências e anomalias podem ser eliminadas, e a teoria M possui a mais poderosa dessas simetrias. Portanto, talvez exista uma só teoria, única, que obedeça a todos os postulados que exigimos de uma teoria.

Einstein, que costumava escrever extensamente sobre o Velho, foi indagado sobre a existência de Deus. Para ele, havia dois tipos de deus. O primeiro era o deus pessoal, o deus que atendia às preces, o deus de Abraão, Isaque, Moisés, o deus que divide as águas e faz milagres. Mas este não é o deus em que a maioria dos cientistas acredita.

Einstein, certa vez, escreveu que acreditava no “Deus de Spinoza que se revela na harmonia ordenada do que existe, não num Deus que se preocupa com destinos e atos de seres humanos”.[25] O deus de Spinoza e de Einstein é o deus

da harmonia, o deus da razão e da lógica. Einstein escreve: “Não posso imaginar um Deus que premia e castiga os objetos da sua criação... Nem posso acreditar que o indivíduo sobreviva à morte do seu corpo.”[26]

(No *Inferno* de Dante, o Primeiro Círculo, perto da entrada do Inferno, é povoado de pessoas de boa vontade e índole que deixaram de aceitar plenamente Jesus Cristo. No Primeiro Círculo, Dante encontrou Platão, Aristóteles e outros grandes pensadores e luminares. Como o físico Wilczek observa: “Suspeitamos de que muitos, talvez a maioria dos cientistas modernos, acabem no Primeiro Círculo.”)[27] Mark Twain talvez fosse encontrado nesse ilustre Primeiro Círculo. Twain, certa vez, definiu a fé como “acreditar naquilo que qualquer idiota sabe que não é assim”.[28]

Pessoalmente, de um ponto de vista puramente científico, penso que talvez o argumento mais forte a favor da existência do deus de Einstein ou de Spinoza esteja na teleologia. Se a teoria das cordas for no final experimentalmente confirmada como a teoria de tudo, então devemos perguntar de onde vieram as equações. Se a teoria de campo unificada é realmente única, como Einstein acreditava, então devemos perguntar de onde vem esta unicidade. Os físicos que acreditam neste Deus acreditam que o universo é tão belo e simples que suas leis básicas não poderiam ter sido casuais. O universo poderia ter sido totalmente aleatório ou composto de elétrons e neutrinos inertes, incapazes de criar vida, muito menos vida inteligente.

Se, como eu e alguns outros cientistas acreditamos, as leis básicas da realidade são descritas por uma fórmula com talvez não mais do que dois centímetros de comprimento, então a pergunta é: de onde veio esta equação?

Como disse Martin Gardner: “Por que a maçã cai? Por causa da lei da gravidade. Por que a lei da gravidade? Por causa de certas equações que fazem parte da teoria da relatividade. Se os físicos, um dia, conseguirem escrever uma equação definitiva da qual todas as leis físicas possam ser derivadas, alguém ainda vai perguntar: ‘Por que essa equação?’”[29]

CRIANDO O NOSSO PRÓPRIO SENTIDO

Enfim, acredito que a própria existência de uma única equação capaz de descrever o universo inteiro de um modo ordenado e harmonioso implica algum tipo de intenção. Entretanto, não acredito que esta intenção dê sentido pessoal à humanidade. Não importa o quanto a formulação final da física possa ser surpreendente ou elegante, ela não elevará o espírito de bilhões de pessoas e lhes

dará satisfação emocional. Nenhuma fórmula mágica com origem na cosmologia e na física fascinará as massas e enriquecerá sua vida espiritual.

Para mim, o verdadeiro sentido da vida é que nós criamos o nosso próprio sentido. É nosso destino traçar o nosso próprio futuro, em vez de recebê-lo das mãos de alguma autoridade superior. Einstein, certa vez, confessou que era impotente para confortar as centenas de indivíduos bem-intencionados que lhe escreviam pilhas de cartas implorando que ele revelasse o sentido da vida. Como disse Alan Guth: "Está certo perguntar essas coisas, mas ninguém deve esperar uma resposta mais sensata de um físico. O que eu mesmo sinto é que a vida tem um propósito – basicamente, suponho que o seu propósito é aquele que nós lhe demos e não algo que tenha surgido de uma intenção cósmica."[30]

Acredito que Sigmund Freud, com todas as suas especulações sobre o lado sombrio da mente inconsciente, tenha chegado mais perto da verdade ao dizer que o que dá estabilidade e sentido a nossa mente é trabalho e amor. O trabalho ajuda a nos dar uma sensação de responsabilidade e propósito, um foco concreto para nossos esforços e sonhos. O trabalho não só confere disciplina e estrutura a nossa vida, ele também nos dá uma sensação de orgulho, conquista e uma estrutura para a satisfação. E o amor é um ingrediente essencial que nos coloca dentro do tecido da sociedade. Sem amor, estamos perdidos, vazios, sem raízes. Ficamos à deriva na nossa própria terra, desligados dos problemas alheios.

Além do trabalho e do amor, eu acrescentaria mais dois outros ingredientes que dão sentido à vida. Primeiro, satisfazer os talentos com os quais nascemos. Por mais abençoados que sejamos, com diferentes habilidades e pontos fortes, devemos tentar desenvolvê-las ao máximo, em vez de deixá-las atrofiar e apodrecer. Todos nós conhecemos indivíduos que não cumpriram a promessa que demonstraram na infância. Muitos se assustaram com a imagem do que poderiam se tornar. Em vez de culpar o destino, penso que devemos nos aceitar tal como somos e tentar satisfazer todos os sonhos que estejam dentro da nossa capacidade.

Segundo, devemos tentar deixar o mundo um lugar melhor do que quando nele chegamos. Como indivíduos, podemos fazer a diferença, seja sondando os segredos da Natureza, limpando o ambiente e trabalhando pela paz e justiça social, ou nutrindo o espírito inquisidor e vibrante dos jovens, sendo um mentor ou guia.

A TRANSIÇÃO PARA A CIVILIZAÇÃO DO TIPO I

Na peça de Tchecov, *Três irmãs*, no segundo ato, o coronel Vershiunin proclama: “Em um ou dois séculos, ou num milênio, as pessoas viverão de um novo modo, mais felizes. Não estaremos aqui para ver – mas é por isso que vivemos, por isso trabalhamos. É por isso que sofremos. Estamos criando isso. É o propósito da nossa existência. A única felicidade que podemos conhecer é trabalhar nesse sentido.”

Pessoalmente, em vez de ficar deprimido com a enormidade do universo, vibro com a ideia de mundos totalmente novos que existam perto do nosso. Vivemos numa era em que estamos apenas começando a explorar o cosmo com nossas sondas e telescópios espaciais, nossas teorias e equações.

Sinto-me também privilegiado por viver num tempo em que o nosso mundo está passando por esses avanços heroicos. Estamos vivos para testemunhar talvez a maior transição da história humana, a transição para uma civilização do tipo I, talvez a mais crucial, mas também perigosa, transição na história da humanidade.

No passado, nossos ancestrais viviam num mundo severo, implacável. Durante quase toda a história humana, as pessoas tiveram uma vida curta, embrutecida, com uma expectativa média de vida de cerca de vinte anos. Elas viviam em constante temor de doenças, à mercê do destino. O exame dos ossos de nossos ancestrais revela que eles eram incrivelmente desgastados, um testemunho das pesadas cargas e fardos que transportavam diariamente; eles também trazem as reveladoras marcas de doenças e acidentes horríveis. Mesmo no século passado, nossos avós viveram sem o benefício do saneamento moderno, dos antibióticos, aviões a jato, computadores ou outras maravilhas eletrônicas.

Nossos netos, entretanto, viverão a alvorada da primeira civilização planetária da Terra. Se não nos deixarmos consumir por nosso instinto muitas vezes brutal de autodestruição, nossos netos poderão viver numa era em que a penúria, a fome e a doença não assombrarão o nosso destino. Pela primeira vez na história humana, possuímos ao mesmo tempo os meios para destruir toda a vida sobre a Terra ou para criar um paraíso no planeta.

Quando criança, muitas vezes me perguntei como seria viver no futuro distante. Hoje, acredito que se eu pudesse escolher viver em alguma era particular da humanidade, escolheria esta. Estamos, agora, na época mais excitante da história humana, a cúspide de algumas das maiores descobertas cósmicas e avanços tecnológicos de todos os tempos. Estamos fazendo a transição histórica de passivos observadores da dança da natureza para a de coreógrafos dessa dança, com a capacidade de manipular vida, matéria e inteligência. Com este incrível poder, entretanto, vem a grande responsabilidade:

garantir que os frutos de nossos esforços sejam usados de maneira sensata e para o benefício de toda a humanidade.

A geração de hoje é talvez a mais importante geração de seres humanos a caminhar sobre a Terra. Ao contrário de gerações anteriores, temos em nossas mãos o destino do futuro de nossa espécie, quer nos alcemos a cumprir nossa promessa como uma civilização do tipo I ou desçamos ao abismo do caos, da poluição e da guerra. As decisões que tomarmos reverberarão por todo este século. A nossa solução para guerras globais, proliferação de armas nucleares e lutas sectárias e étnicas definirão ou destruirão os alicerces de uma civilização do tipo I. Talvez o propósito e sentido da atual geração seja garantir que a transição para uma civilização do tipo I seja suave.

A escolha é nossa. Esta é a herança da geração que vive hoje. Este é o nosso destino.

NOTAS

Capítulo Um: Fotos de Bebê do Universo

1. www.space.com, 11 de fevereiro de 2003.
2. Croswell, p. 181.
3. Croswell, p. 173.
4. Britt, Robert. www.space.com, 11 de fevereiro de 2003.
5. www.space.com, 15 de janeiro de 2002.
6. *New York Times*, 12 de fevereiro de 2003, p. A34.
7. Lemonik, p. 53.
8. *New York Times*, 29 de outubro de 2002, p. D4.
9. Rees, p. 3.
10. *New York Times*, 18 de fevereiro de 2003, p. F1.
11. Rothman, Tony, revista *Discovery*, julho de 1987, p. 87.
12. Hawking, p. 88.

Capítulo Dois: O Universo Paradoxal

1. Bell, p. 105
2. Silk, p. 9.
3. Croswell, p. 8.
4. Croswell, p. 6.
5. Smoot, p. 28.
6. Croswell, p. 10.
7. *New York Times*, 10 de março de 2004, p. AI.
8. *New York Times*, 10 de março de 2004, p. AI.
9. Pais2, p. 41.
10. Schilpp, p. 53.
11. A contração de objetos movendo-se próximo da velocidade da luz foi, na verdade, encontrada por Hendrik Lorentz e George Francis FitzGerald pouco antes de Einstein, mas eles não compreenderam o seu efeito. Os dois tentaram analisar o efeito numa estrutura puramente newtoniana, supondo que a contração era uma compressão eletromecânica criada pela passagem através do "vento de éter". As ideias de Einstein são poderosas pois ele não somente extraiu toda a teoria da relatividade especial de um princípio (a constância da velocidade da luz), como também interpretou isto como um princípio universal da natureza que contradizia a teoria newtoniana. Por conseguinte, estas distorções eram propriedades inerentes do espaço-tempo, em vez de serem distorções eletromecânicas de matéria. O grande matemático francês Henri Poincaré talvez tenha chegado mais perto de derivar as mesmas equações de Einstein. Mas somente Einstein tinha o conjunto completo de equações e a profunda percepção física do problema.
12. Pais2, p. 239.
13. Folsing, p. 444.
14. Parker, p. 126.
15. Brian, p. 102.
16. Quando o gás expande, ele resfria. Na sua geladeira, por exemplo, uma tubulação conecta o interior e o exterior da câmara. Quando o gás entra no interior da geladeira, ele expande, o que resfria a tubulação e a comida. Quando ele deixa o interior da geladeira, a tubulação se contrai e então fica

quente. Há também uma bomba mecânica que leva o gás pela tubulação. Assim, a parte de trás da geladeira fica quente, enquanto a parte de dentro está fria. As estrelas funcionam na ordem inversa. Quando a gravidade comprime a estrela, a estrela se aquece até serem alcançadas as temperaturas de fusão.

Capítulo Três: O Big Bang

1. Lemonik, p. 26.

2. Croswell, p. 37.

3. Smoot, p. 61.

4. Gamowl, p. 14.

5. Croswell, p. 39.

6. Gamow2, p. 100.

7. Croswell, p. 40.

8. *New York Times*, 29 de abril de 2003, p. F3.

9. Gamow1, p. 142.

10. Croswell, p. 41.

11. Croswell, p. 42.

12. Croswell, p. 42.

13. Croswell, p. 43.

14. Croswell, pp. 45-46.

15. Croswell, p. III. A quinta e última palestra de Hoyle, entretanto, foi a que gerou mais controvérsias porque ele criticava a religião. (Hoyle disse certa vez, com característica indelicadeza, que a solução para o problema da Irlanda do Norte era colocar na prisão todos os padres e clérigos. "Nenhuma disputa religiosa que eu tenha visto ou lido é digna da morte de uma única criança", disse ele. Croswell, p.43)

16. Gamow1, p. 127.

17. Croswell, p. 63.

18. Croswell, pp. 63-64.

19. Croswell, p. 101.

20. Embora Zwicky, até o dia da sua morte, publicamente expressasse a sua amargura porque suas descobertas científicas foram ignoradas, Gamow manteve-se calado em público sobre ter sido passado para trás no prêmio Nobel, embora manifestasse a sua grande frustração em cartas particulares. Em vez disso, Gamow dirigiu seus consideráveis talentos científicos e criatividade para a pesquisa do DNA, acabando por revelar um dos segredos de como a natureza faz aminoácidos a partir do DNA. O prêmio Nobel, James

Watson, até reconheceu esta contribuição colocando o nome de Gamow no título da sua autobiografia recente.

21. Croswell, p. 91.

22. *Scientific American*, julho de 1992, p. 17.

Capítulo Quatro: Inflação e Universos Paralelos

1. Cole, p. 43.

2. Guth, p. 30.

3. Guth, pp. 186-87.

4. Guth, p. 191.

5. Guth, p. 18.

6. Kirschner, p. 188.

7. Reesl, p. 171.

8. Croswell, p. 124.

9. Rees2, p. 100.

10. Os cientistas procuraram antimatéria no universo e encontraram pouca (exceto alguns fluxos de antimatéria perto do núcleo da Via Láctea). Visto que matéria e antimatéria são praticamente indistinguíveis uma da outra, obedecendo às mesmas leis da física e da química, é muito difícil saber qual é uma e qual é outra. Entretanto, um jeito é procurar emissões de raios gama características com 1,02 milhões de elétron-volts. Esta é a impressão digital da presença de antimatéria porque é o mínimo de energia liberada quando um elétron colide com um antielétron. Mas, quando vasculhamos o universo, não vemos evidência de grandes quantidades de raios gama com 1,02 milhões de elétron-volts, um indício de que a antimatéria é rara no universo.

11. Cole, p. 190.

12. *Scientific American*, junho de 2003, p. 70.

13. *New York Times*, 23 de julho de 2002, p. F7.

14. O limite de Chandrasekhar pode ser derivado pelo seguinte raciocínio. Por um lado, a gravidade age para comprimir uma estrela anã branca a incríveis densidades, o que aproxima cada vez mais os elétrons na estrela. Por outro lado, há o princípio de exclusão de Pauli, que afirma que dois elétrons não podem ter exatamente os mesmos números quânticos descrevendo o seu estado. Isto significa que dois elétrons não podem ocupar exatamente o mesmo ponto com as mesmas propriedades, de modo que existe uma força afastando os elétrons (além da repulsão eletrostática). Isto quer dizer que existe uma pressão total empurrando para fora, impedindo os elétrons de serem esmagados ainda mais uns contra os outros. Podemos portanto calcular a massa da estrela anã branca quando estas duas forças (uma de repulsão e a

outra de atração) se anulam exatamente, e este é o limite de Chandrasekhar, de 1,4 massas solares.

Para uma estrela de nêutrons, a gravidade esmaga uma bola de nêutrons pura, de modo que existe um novo limite de Chandrasekhar de aproximadamente 3 massas solares, já que os nêutrons também se repelem devido a esta força. Como uma estrela de nêutrons é mais massiva do que seu limite de Chandrasekhar, então ela colapsará num buraco negro.

15. Croswell, p. 204.

16. Croswell, p. 222.

17. *New York Times*, 23 de julho de 2002, p. F7.

Capítulo Cinco: Portais Dimensionais e Viagem no Tempo

1. Parker, p. 151.

2. Thorne, p. 136.

3. Thorne, p. 162.

4. Reesl, p. 84.

5. *Astronomy Magazine*, julho de 1998, p. 44.

6. Rees1, p. 88.

7. Nahin, p. 81.

8. Nahin, p. 81.

9. Eles estão entre os primeiros a aplicar a mecânica quântica à física do buraco negro. Segundo a teoria quântica, existe uma probabilidade finita de que uma partícula subatômica possa escapar por um túnel da atração gravitacional do buraco negro e portanto ela deveria lentamente emitir radiação. Este é um exemplo de uso de tunelamento.

10. Thorne p. 137.

11. Nahin, p. 421.

12. Nahin, p. 522.

13. Nahin, p. 522.

14. Gott, p. 104.

15. Gott, p. 104.

16. Gott, p. 110.

17. Um exemplo bem conhecido de um paradoxo sexual foi escrito pelo filósofo britânico Jonathan Harrison, num conto publicado em 1979 na revista *Analysis*. Os leitores da revista foram desafiados a entendê-lo.

> A história começa com uma jovem senhora, Jocasta Jones, que um dia encontra um velho refrigerador. Dentro do refrigerador ela descobre um rapaz simpático congelado vivo. Depois de descongelá-lo, ela descobre que o nome dele é Dum. Dum lhe diz que possui um livro que ensina a construir um refrigerador que pode preservar seres humanos e como construir uma máquina do tempo. Os dois se apaixonam, casam e em breve terão um filho, a quem chamarão Dee.
>
> Anos depois, quando Dee já é um rapaz, ele segue os passos do pai e resolve construir uma máquina do tempo. Desta vez, Dee e Dum

fazem uma viagem ao passado, levando com eles o livro. Entretanto, a viagem termina tragicamente, e eles se veem perdidos no passado distante e sem comida. Percebendo que o fim está próximo, Dee faz a única coisa possível para continuar vivo, que é matar o pai e comê-lo. Dee então decide seguir as instruções do livro e construir um congelador. Para se salvar, ele entra no congelador e é congelado num estado de animação suspensa.

Muitos anos depois, Jocasta Jones encontra o congelador e decide descongelar Dee. Para se disfarçar, Dee diz que se chama Dum. Eles se apaixonam e em seguida têm um filho a quem chamam Dee... e assim o ciclo continua.

A reação ao desafio de Harrison provocou dezenas de respostas. Um leitor afirmou que era "uma história tão extravagante nas suas implicações que será considerada como uma *reductio ad absurdum* de uma hipótese dúbia sobre a qual se baseia a história: a possibilidade de viagens no tempo". Observe que a história não contém aqui um paradoxo do avô, visto que Dee está realizando o passado ao voltar no tempo para encontrar sua mãe. Em nenhum momento Dee faz alguma coisa que torne o presente impossível. (Existe um paradoxo de informação, entretanto, já que o livro contém o segredo da animação suspensa e a viagem no tempo aparece do nada. Mas o livro em si não é essencial para a história.)

Outro leitor observou um estranho paradoxo biológico. Visto que metade do DNA de qualquer indivíduo vem da mãe e metade do pai, isto significa que Dee deveria ter metade do seu DNA da senhora Jones e metade do seu pai, Dum. Entretanto, Dee é Dum. Portanto, Dee e Dum devem ter o mesmo DNA porque são a mesma pessoa. Mas isto é impossível visto que, pelas leis da genética, metade dos seus genes vem da senhora Jones. Em outras palavras, as histórias de viagens no tempo em que uma pessoa volta no tempo, encontra a mãe e é pai dela mesma violam as leis da genética.

Pode-se pensar que exista uma saída para o paradoxo sexual. Se você pode se tornar tanto o seu pai quanto a sua mãe, então todo o seu DNA vem de você mesmo. No conto de Robert Heilen "All You Zombies", uma moça faz uma cirurgia de mudança de sexo e volta duas vezes no tempo para ser a sua própria mãe, pai, filho e filha. Entretanto, mesmo neste estranho conto, existe uma sutil violação das leis da genética.

Em "All You Zombies", uma jovem moça chamada Jane é criada

num orfanato. Um dia, ela conhece e se apaixona por um simpático estranho. Ela dá à luz uma filha dele, que é misteriosamente raptada. Jane tem complicações no parto, e os médicos são obrigados a transformar Jane num homem. Anos depois, este homem encontra um viajante no tempo, que o leva de volta ao passado, onde ele conhece Jane quando garota. Os dois se apaixonam, e Jane engravida. Ele então rapta a própria filhinha e volta ainda mais no passado, largando Jane bebê num orfanato. Em seguida, Jane cresce e conhece um simpático estranho. Esta história quase foge ao paradoxo sexual. Metade de seus genes pertence à Jane mocinha e metade dos seus genes é de Jane, o simpático estranho. Entretanto, a cirurgia de mudança de sexo não pode mudar o seu cromossomo X num cromossomo Y, e portanto esta história também apresenta o paradoxo sexual.

18. Hawking, pp. 84-85.

19. Hawking, pp. 84-85.

20. Basicamente, para resolver estas complexas questões matemáticas, é preciso procurar um novo tipo de física. Por exemplo, muitos físicos, como Stephen Hawking e Kip Thorne, usam o que se chama de aproximação semiclássica – isto é, usam uma teoria híbrida. Eles supõem que as partículas subatômicas obedecem ao princípio quântico, mas aceitam que a gravitação seja suave e não quântica (isto é, eles banem grávitons de seus cálculos). Visto que todas as divergências e anomalias vêm dos grávitons, a abordagem semiclássica não sofre com os infinitos. Entretanto, pode-se mostrar matematicamente que a abordagem semiclássica é incoerente – isto é, ela dá respostas erradas, logo os resultados de um cálculo semiclássico não podem ser confiados, especialmente nas áreas mais interessantes, como o centro de um buraco negro, a entrada para uma máquina do tempo e o instante do Big Bang. Note que muitas das “provas” que afirmam que a viagem no tempo não é possível ou que você não pode passar por um buraco negro foram feitas na aproximação semiclássica e portanto não são confiáveis. É por isso que devemos procurar uma teoria quântica da gravitação, como a teoria das cordas ou a teoria M.

Capítulo Seis: Universos Quânticos Paralelos

1. Bartusiak, p. 62.
2. Cole, p. 68
3. Brian, p. 185.
4. Brian, p. 185.
5. Bernstein, p. 96.
6. Weinberg2, p. 103.
7. Pais2, p. 318.
8. Barrow1, p. 185.
9. Barrow3, p. 143.
10. Greene1, p. III.
11. Weinberg1, p. 85.
12. Barrow3, p. 378.
13. Folsing, p. 589.
14. Folsing, p. 591; Brian, p. 199.
15. Folsing, p. 591.
16. Kowalski, p. 156.
17. *New York Herald Tribune*, 12 de setembro de 1933.
18. *New York Times*, 7 de fevereiro de 2002, p. A12.
19. Rees1, p. 255.
20. Crease, p. 67.
21. Barrow1, p. 458.
22. Revista *Discover*, junho de 2002, p. 48.
23. Citado em *Universos Paralelos* da BBC, 2002.
24. Wilczek, pp. 128-29.
25. Rees1, p. 246.
26. Bernstein, p. 131.
27. Bernstein, p. 132.
28. National Geographic, www.nationalgeographic.com, 29 de janeiro de 2003.

Capítulo Sete: A Teoria M: A Mãe de Todas as Cordas

1. Nahin, p. 147.

2. Wells2, p. 20.

3. Pais2, p. 179.

4. Moore, p. 432.

5. Kaky2, p. 137.

6. Davies2, p. 102.

7. Em princípio, toda a teoria das cordas podia ser resumida em termos da nossa teoria de campo das cordas. Entretanto, a teoria não estava na sua forma final, já que a invariância de Lorentz manifesta estava quebrada. Mais tarde, Witten foi capaz de escrever uma versão elegante da teoria de campo das cordas bosônicas abertas que era covariante. Em seguida, o grupo do MIT, o grupo de Kyoto e eu conseguimos formular a teoria das cordas bosônicas fechadas (que, entretanto, não era polinomial e era difícil trabalhar com ela). Hoje, com a teoria M, o interesse mudou para as membranas, mas não está claro se é possível construir uma genuína teoria de campo das membranas.

8. Existem, na verdade, várias razões para dez e onze serem os números preferidos na teoria das cordas e na teoria M. Primeiro, se estudarmos as representações do grupo de Lorentz em dimensões cada vez maiores, descobrimos que, em geral, o número de férmions aumenta exponencialmente com a dimensão, enquanto o número de bósons aumenta linearmente com a dimensão. Assim, só para as dimensões menores podemos ter uma teoria supersimétrica com números iguais de férmions e bósons. Se fizermos uma cuidadosa análise da teoria de grupos, descobrimos que temos um equilíbrio perfeito se tivermos dez e onze dimensões (supondo que tenhamos no máximo uma partícula de *spin* dois, não três ou mais). Portanto, com base apenas na teoria dos grupos, podemos mostrar que as dimensões preferidas são dez e onze.

Há outras maneiras de mostrar que dez e onze são os “números mágicos”. Se estudarmos os diagramas com laços mais altos, descobrimos que, em geral, a unitaridade não é preservada, o que é um desastre para a teoria. Isso significa que as partículas podem aparecer e desaparecer como num passe de mágica. Descobrimos que a unitaridade é restaurada para a teoria perturbativa nestas dimensões.

Podemos também mostrar que em dez e onze dimensões é possível fazer

desaparecerem as partículas “fantasmas”. Estas são partículas que não respeitam as condições normais para as partículas físicas.

Em resumo, podemos mostrar que nestes “números mágicos” é possível preservar: (a) a supersimetria, (b) a finitude da teoria de perturbação, (c) a unitaridade das séries perturbativas, (d) a invariância de Lorentz, (e) o cancelamento de anomalias.

9. Comunicação particular.

10. Quando os físicos tentam solucionar uma teoria complexa, costumam usar a “teoria da perturbação”, a ideia de resolver primeiro uma teoria mais simples e depois analisar pequenos desvios desta teoria. Estes pequeníssimos desvios, por sua vez, nos dão um número infinito de pequenos fatores de correção para a teoria original, idealizada. Cada correção é, em geral, chamada de um diagrama de Feynman e pode ser descrita graficamente por diagramas que representam todos os modos possíveis nos quais as várias partículas podem esbarrar umas nas outras.

Historicamente, os físicos ficaram preocupados com o fato de os termos na teoria da perturbação ficarem infinitos, inutilizando todo o programa. Entretanto, Feynman e seus colegas descobriram uma série de truques e manipulações engenhosos com os quais podiam varrer para baixo do tapete estes infinitos (motivo pelo qual ganharam o prêmio Nobel em 1965).

O problema da gravitação quântica é que este conjunto de correções quânticas é, na verdade, infinito – cada fator de correção se iguala ao infinito, mesmo se usarmos todos os truques imaginados por Feynman e seus colegas. Dizemos que a gravitação quântica “não é renormalizável”.

Na teoria das cordas, esta expansão de perturbativa é, na verdade, finita, razão fundamental para estudarmos a teoria das cordas. (Tecnicamente falando, uma prova absolutamente rigorosa disto não existe. Entretanto, classes infinitas de diagramas podem se revelar finitas, e argumentos não tão rigorosos foram apresentados mostrando que a teoria é provavelmente finita para todas as ordens.) Mas só a expansão perturbativa não pode representar o universo que conhecemos, visto que a expansão perturbativa preserva a supersimetria perfeita, o que não vemos na natureza. No universo, vemos que as simetrias são bastante quebradas (por exemplo, não vemos evidências experimentais de superpartículas). Por conseguinte, os físicos precisam de uma descrição “não perturbativa” da teoria das cordas, o que é dificílimo. De fato, atualmente, não existe uma maneira uniforme de calcular correções não perturbativas numa teoria quântica de campos. É muito problemático construir uma descrição não perturbativa. Por exemplo, se quisermos aumentar a intensidade das forças na

teoria, isso significa que cada termo na teoria de perturbação fica cada vez maior, de modo que ela não faz sentido. Por exemplo, a soma 1+2+3+4... não faz sentido, visto que cada termo fica cada vez maior. A vantagem da teoria M é que, pela primeira vez, podemos estabelecer resultados não perturbativos por meio da dualidade. Isto significa que é possível demonstrar que o limite não perturbativo de uma teoria das cordas é equivalente a outra teoria das cordas.

11. A teoria das cordas e a teoria M representam uma nova abordagem radical à relatividade geral. Enquanto Einstein montou a relatividade geral em torno do conceito de espaço-tempo curvo, a teoria das cordas e a teoria M são construídas em torno do conceito de um objeto estendido, como uma corda ou uma membrana, movendo-se num espaço supersimétrico. No final, talvez seja possível associar estes dois quadros, mas, no presente, isto não é bem compreendido.

12. *Discover Magazine*, agosto de 1991, p. 56.

13. Barrow2, p. 305.

14. Barrow2, p. 205.

15. Barrow2, p. 205.

16. No final da década de 1960, quando os físicos começaram a procurar uma simetria que pudesse incluir todas as partículas da natureza, a gravitação claramente não foi incluída. Isto porque existem dois tipos de simetria. As encontradas nas partículas físicas são aquelas que misturam as partículas entre elas mesmas. Mas há também um outro tipo de simetria, que transforma espaço em tempo, e estas simetrias espaço-temporais estão associadas com a gravidade. A teoria da gravitação baseia-se não nas simetrias de partículas pontuais intercambiáveis, mas nas simetrias de rotações em quatro dimensões: o grupo de Lorentz em quatro dimensões 0(3,1).

Nesta época, Sidney Coleman e Jeffrey Mandula provaram um teorema famoso, afirmando que era impossível casar simetrias do espaço-tempo, que descrevem a gravidade, com simetrias descrevendo as partículas. Este teorema proibitivo jogou água fria em qualquer tentativa de construir uma "simetria mestre" do universo. Por exemplo, se alguém tentasse casar o grupo de GUT $SU(_5)$ com o grupo da relatividade 0(3,1), encontrava uma catástrofe. Por exemplo, as massas das partículas, de repente, se tornavam contínuas em vez de discretas. Isto foi frustrante, visto significar que não se podia ingenuamente incluir a gravitação junto com as outras forças apelando para uma simetria mais elevada. Significava que uma teoria de campo unificada era provavelmente impossível.

A teoria das cordas, entretanto, soluciona todos estes espinhosos problemas matemáticos com a mais poderosa simetria jamais encontrada para a física de partículas: a supersimetria. No presente, a supersimetria é o único modo possível de evitar o teoria de Coleman-Mandula. (A supersimetria explora uma brecha minúscula, mas crucial, neste teorema. Em geral, quando introduzimos números como *a* ou *b*, supomos que *a X b = b X a*. Isto estava tacitamente suposto no teorema de Coleman-Mandula. Mas na supersimetria introduzimos "supernúmeros", como *a X b = -b X a*. Estes supernúmeros têm propriedades estranhas. Por exemplo, se *a X a = 0*, então *a* pode ser diferente de zero, o que soa absurdo para números comuns. Se inserimos supernúmeros no teorema de Coleman-Mandula, descobrimos que ele falha.)

17. Primeiro, ela soluciona o problema da hierarquia, que condena a teoria GUT. Ao formularmos as teorias de campo unificadas, descobrimos duas escalas de massa bem diferentes. Algumas partículas, como o próton, possuem massas como as encontradas no dia a dia. Outras partículas, entretanto, são muito massivas e têm energias comparáveis às encontradas próximas ao Big Bang, a energia de Planck. Estas duas escalas de massa precisam ser mantidas separadas. Entretanto, quando incluímos correções quânticas, acontece um desastre. Devido às flutuações quânticas, estes dois tipos de massa começam a se misturar, porque existe uma probabilidade finita de um conjunto de partículas leves se transformarem em outro conjunto de partículas pesadas e vice-versa. Isto significa que deveria haver um contínuo de partículas com massas variando suavemente entre massas cotidianas e as enormes massas encontradas no Big Bang, que claramente não vemos na natureza. É aí que entra a supersimetria. Pode-se mostrar que as duas escalas de energia não se misturam numa teoria supersimétrica. Ocorre um lindo processo de cancelamento, de modo que as duas escalas jamais interagem uma com a outra. Termos fermiônicos cancelam exatamente termos bosônicos, produzindo resultados finitos. Pelo que sabemos, a supersimetria talvez seja a única solução para o problema da hierarquia.

Além disso, a supersimetria soluciona o problema apresentado pela primeira vez pelo teorema de Coleman-Mandula, na década de 1960, que provava ser impossível combinar um grupo de simetria que atuava nos quarks, como $SU(_3)$, com a simetria que atuava no espaço-tempo, como na teoria da relatividade de Einstein. Por conseguinte, uma simetria unificadora, unindo ambas, era impossível, de acordo com o teorema. Foi desanimador, porque significava que a unificação era matematicamente impossível. Entretanto, a supersimetria oferece uma brecha sutil para este teorema. É uma das grandes descobertas teóricas da

supersimetria.

18. Cole, p. 174.

19. Wilzcek, p. 138.

20. www.edge.org, 10 de fevereiro de 2003

21. www.edge.org, 10 de fevereiro de 2003.

22. Seife, p. 197.

23. Revista *Astronomy*, maio de 2002, p. 34.

24. Revista *Astronomy*, maio de 2002, p. 34.

25. Revista *Astronomy*, maio de 2002, p. 34.

26. Revista *Discover*, fevereiro de 2004, p. 41.

27. Revista *Astronomy*, maio de 2002, p. 39.

28. Revista *Discover*, fevereiro 2004, p. 41.

29. Greene1, p. 343.

30. Mais exatamente, o que Maldacena mostrou foi que a teoria das cordas do tipo II, compactada num espaço de anti-De Sitter pentadimensional, era dual com relação à teoria de campo conforme quadrimensional localizada na sua fronteira. A esperança original era a de que uma versão modificada desta bizarra dualidade pudesse ser estabelecida entre a teoria das cordas e a QCD (cromodinâmica quântica) quadridimensional, a teoria das interações fortes. Se esse tipo de dualidade puder ser construído, será um enorme avanço, porque então seria possível computar as propriedades das partículas que interagem fortemente, como o próton, diretamente da teoria das cordas. Entretanto, no presente, esta esperança ainda não se concretizou.

31. *Scientific American*, agosto de 2003, p. 65.

32. Ibid.

33. Greene1, p. 376.

Capítulo Oito: Um Universo de um Projetista?

1. Brownlee e Ward, p. 222.

2. Barrow1, p. 37.

3. www.sciencedaily.com, 4 de julho de 2003.

4. www.sciencedaily.com, 4 de julho de 2003.

5. www.sciencedaily.com, 4 de julho de 2003.

6. Page, Don. “*The Importance of the Anthropic Principle*”. Pennsylvannia State University.

7. Margenau, p. 52.

8. Rees1, p. 166.

9. *New York Times*, 29 de outubro de 2002, p. D4.

10. Lightman, p. 479.

11. Rees1, p.3.

12. Rees2, p.56.

13. Rees2, p.99.

14. Revista *Discover*, novembro de 2000, p. 66.

15. Revista *Discover*, novembro de 2000, p. 68

Capítulo Nove: Em Busca dos Ecos da Décima Primeira Dimensão

1. Croswell, p. 128.

2. Bartusiak, p. 55.

3. Esta mudança ocorre de dois modos. Como os satélites próximos da Terra viajam a 29 mil quilômetros por segundo, a relatividade especial impera, e o tempo passa mais devagar no satélite. Isto significa que os relógios no satélite parecem se atrasar um pouco se comparados com os relógios no solo. Mas como o satélite experimenta um campo gravitacional mais fraco no espaço cósmico, o tempo também se acelera, por causa da relatividade geral. Assim, dependendo da distância que o satélite se encontra em relação à Terra, os seus relógios ou andam mais devagar (por causa da relatividade especial) ou mais depressa (devido à relatividade geral). De fato, a uma certa distância da Terra, os dois efeitos equilibram-se exatamente, e o relógio no satélite andará na mesma velocidade do relógio na Terra.

4. *Newsday*, 17 de setembro de 2002, p. A46.

5. *Newsday*, 17 de setembro de 2002, p. A47.

6. Bartusiak, pp. 158-59.

7. Bartusiak, p. 158.

8. Bartusiak, p. 154.

9. Bartusiak, p. 158.

10. Bartusiak, p. 150.

11. Bartusiak, p. 169.

12. Bartusiak, p. 170.

13. Bartusiak, p. 171.

14. O fundo de radiação cósmica medido pelo satélite WMAP data de 379 mil anos depois do Big Bang, porque é quando os átomos começaram a se condensar pela primeira vez depois da explosão inicial. Entretanto, as ondas gravitacionais que a LISA poderia detectar datam de quando a gravidade começou a se separar das outras forças, o que aconteceu próximo do instante do Big Bang. Por conseguinte, alguns físicos acreditam que a LISA será capaz de confirmar ou descartar muitas das teorias que estão sendo propostas hoje em dia, inclusive a teoria das cordas.

15. *Scientific American*, novembro de 2001, p. 66.

16. Petters, pp. 7, II.

17. *Scientific American*, novembro de 2001, p. 66.

18. *Scientific American*, novembro de 2001, p. 68.

19. *Scientific American*, novembro de 2001, p. 70.

20. S*cientific American*, novembro de 2001, p. 69.

21. *Scientific American*, março de 2003, p. 59.

22. *Scientific American*, março de 2003, p. 55.

23. *Scientific American*, julho de 2000, p. 71.

24. www.space.com, 27 de fevereiro de 2003.

25. *Scientific American*, março de 2003, p. 59.

26. *Scientific American*, junho de 2003, p. 75.

27. Nos últimos dias das audiências sobre o destino da SSC, um congressista fez a pergunta: o que vamos encontrar com esta máquina? Infelizmente, a resposta foi o bóson de Higgs. Podia-se quase escutar os queixos caindo no chão; 11 bilhões de dólares só para outra partícula? Uma das últimas perguntas foi feita pelo deputado republicano Harris W. Fawell (Illinois), que indagou: “Esta máquina vai nos fazer encontrar Deus?” O republicano Don Ritter (Pensilvânia) então acrescentou: “Se esta máquina faz isso, eu venho apoiá-la.” (Weinberg, p. 244.) Infelizmente, os congressistas não obtiveram uma resposta convincente dos físicos.

> Como resultado disso tudo e de outros erros de relações públicas, o SSC foi cancelado. O Congresso dos Estados Unidos havia nos dado um bilhão de dólares para cavar o buraco para a máquina. Depois o Congresso cancelou tudo e nos deu mais 1 bilhão de dólares para fechar o buraco. O Congresso, na sua sabedoria, nos deu 2 bilhões de dólares para abrir um buraco e em seguida fechá-lo, e ele ficou sendo o buraco mais caro da história. (Pessoalmente, acho que o pobre físico que teve que responder à pergunta sobre Deus deveria ter dito: “Excelência, podemos ou não encontrar a Deus, mas nossa máquina nos levará a ficar o mais próximo possível de Deus, qualquer que seja o nome que você dê à divindade. Ela pode revelar o segredo de Seu maior ato, a própria criação do universo.”)

28. Greene1, p. 224

29. Greene1, p. 225.

30. Kakus3, p. 699.

Capítulo Dez: O Fim de Tudo

1. De acordo com esta lei, por sua vez, as “máquinas de movimento perpétuo” que afirmam conseguir “alguma coisa por nada” não são possíveis sob as leis da física conhecidas.

2. Barrow1, p. 658.

3. Rees1. p. 194.

4. Rees1, p. 198.

5. www.sciencedaily.com, 28 de maio de 2003; *Scientific American*, agosto de 2003, p. 84.

6. Croswell, p. 231.

7. Croswell, p. 232.

8. *Astronomy Magazine*, novembro de 2001, p. 40.

9. www.abcnews.com, 24 de janeiro de 2003.

10. Rees1, p. 182.

11. Revista *Discover*, julho de 1987, p. 90.

12. *Scientific American*, novembro de 1999, pp. 60-63.

13. *Scientific American*, novembro de 1999, pp. 60-63.

Capítulo Onze: Escapando do Universo

1. Rees3, p. 182.

2. Isto também pode se aplicar a uma cultura do tipo I. Em muitos países do Terceiro Mundo, uma elite que fale tanto o idioma local quanto o inglês também se mantém atualizada com as novidades da cultura e do estilo ocidental. Uma civilização do tipo I poderia, então, ser bicultural, com uma cultura planetária que cobre o globo inteiro, coexistindo com culturas e costumes locais. Portanto, uma cultura planetária não significa necessariamente a destruição de culturas locais.

3. *Scientific American*, julho de 2000, p. 40.

4. *Scientific American*, julho de 2000, p. 41.

5. *Scientific American*, julho de 2000, p. 40.

6. Dyson, p. 163.

7. Concebivelmente, poderia haver uma civilização ainda superior àquela do tipo III, que explora o poder da energia escura, que compõe 73 por cento de todo o conteúdo de matéria/energia do universo. Na série de televisão *Jornada nas estrelas*, o Q qualificaria essa civilização, visto que o poder do Q cobre todas as galáxias.

8. Lightman, p. 169.

9. Lightman, p. 169.

10. Guth, p. 225.

11. Gott, p. 126.

12. Hawking, p. 104.

13. Em princípio, este processo poderia ser feito enquanto você estivesse consciente. À medida que bits de neurônios fossem deletados do seu cérebro, duplicatas de redes de transistores seriam criadas para substituí-los, colocadas no crânio de um robô. Visto que os transistores realizam as mesmas funções dos neurônios deletados, você estaria totalmente consciente durante este procedimento. Assim, depois de terminada a cirurgia, você se encontraria no corpo de um robô de silício e metal.

Capítulo Doze: Além do Multiverso

1. Kaku2, p. 334.
2. Calaprice, p. 202.
3. Calaprice, p. 213.
4. Kowalski, p. 97.
5. Ibid.
6. Croswell, p. 7
7. Smoot, p. 24.
8. Barrow1, p. 106.
9. Kowalski, p. 49.
10. Polkinghorne, p. 66
11. Kowalski, p. 19.
12. Kowalski, p. 50.
13. Kowalski, p.71.
14. Kowalski, p. 71.
15. Chown, p. 30.
16. Weinberg3, p 144.
17. Weinberg2, p. 43.
18. Weinberg2, p. 43.
19. Weinberg, p. 43.
20. Kowalski, p. 60.
21. Lightman, p. 340.
22. Lightman, p. 377.
23. Lightman, p. 248.
24. Weinberg1, p. 245.
25. Weinberg1, p. 245.
26. Kowalski, p. 24.
27. Wilczek, p. 100.
28. Kowalski, p. 168.
29. Kowalski, p. 148.

30. Croswell, p. 127.

GLOSSÁRIO

tunelamento O processo pelo qual partículas podem penetrar em barreiras proibidas pela mecânica newtoniana. A abertura de túneis é a razão do decaimento radioativo alfa e é um subproduto da teoria quântica. O próprio universo pode ter sido criado pelo tunelamento. Conjectura-se que podemos tunelar entre universos.

anã branca Uma estrela em seus estágios finais de vida, consistindo de elementos leves, como oxigênio, lítio, carbono e outros. Elas são encontradas depois que uma gigante vermelha esgota o seu combustível de hélio e colapsa. Em geral, elas são mais ou menos do tamanho da Terra e pesam não mais do que 1,4 massa solar (ou então colapsam).

anéis e lentes de Einstein As distorções óticas da luz estelar à medida que ela atravessa o espaço intergaláctico devido à gravitação. Os aglomerados galácticos distantes muitas vezes parecem anéis. As lentes de Einstein podem ser usadas para calcular muitas medidas importantes, inclusive a presença de matéria escura e até o valor de Lambda e da constante de Hubble.

ano-luz A distância que a luz viaja em um ano ou aproximadamente 9,46 trilhões de quilômetros. A estrela mais próxima está distante cerca de quatro anos-luz, e a Via Láctea tem mais ou menos 100 mil anos luz de diâmetro.

antigravidade O oposto da gravidade, que seria uma força repulsiva e não atrativa. Hoje, entendemos que essa força de antigravidade existe e provavelmente foi o que fez o universo inflar no início dos tempos, e o está acelerando hoje. Esta força de antigravidade, entretanto, é muito pequena para ser medida em laboratório, portanto não tem implicações práticas. A antigravidade também é gerada por matéria negativa (que nunca foi vista na natureza).

antimatéria O oposto de matéria. A antimatéria, cuja existência foi prevista pela primeira vez por P. A. M. Dirac, tem a carga oposta da matéria comum, de modo que os antiprótons têm carga negativa e os antielétrons (pósitrons) têm carga positiva. Quando eles entram em contato, aniquilam-se mutuamente. Até agora, o anti-hidrogênio é o antiátomo mais complexo produzido em laboratório. Por que o nosso universo é feito principalmente de matéria e não de antimatéria é um mistério. Se o Big Bang tivesse criado quantidades iguais de ambos, então eles

deveriam ter se aniquilado mutuamente, e nós não existiríamos.

bárion Uma partícula como o próton ou nêutron, que obedece a interações fortes. Os bárions são um tipo de hádron (uma partícula que interage fortemente). A matéria bariônica, percebemos hoje, compõe apenas uma minúscula fração da matéria no universo e é muito menor que a matéria escura.

Big Bang A explosão original que criou o universo, lançando galáxias para todos os lados. Quando o universo foi criado, a temperatura era extremamente quente e a densidade de matéria era enorme. O Big Bang aconteceu há 13,7 bilhões de anos, segundo o satélite WMAP. O esplendor do Big Bang é visto hoje como a radiação de fundo de microondas. Existem três "provas" experimentais do Big Bang; o desvio para o vermelho das galáxias, a radiação de fundo de microondas e a nucleossíntese dos elementos.

bóson Uma partícula subatômica com *spin* inteiro, como o fóton ou o conjecturado gráviton. Os bárions são unificados com os férmions pela supersimetria.

brana Abreviação de membrana. Branas podem existir em qualquer dimensão, até onze. Elas são a base da teoria M, a principal candidata a uma teoria de tudo. Se pegarmos o corte transversal de uma membrana com onze dimensões, obteremos uma corda de dez dimensões. Uma corda, portanto, é uma uma-brana.

buraco de minhoca Um corredor entre dois universos. Os matemáticos chamam a estes espaços de "espaços multiplamente conexos" – espaços nos quais um laço não pode ser apertado até um ponto. Não está claro se uma pessoa poderia passar por um buraco de minhoca sem desestabilizá-lo ou morrer na tentativa.

buraco negro de Kerr Uma solução exata das equações de Einstein que representa um buraco negro em rotação. O buraco negro colapsa numa singularidade de anel. Os objetos que caem no anel experimentam apenas uma força de gravidade finita e podem, em princípio, cair até em um universo paralelo. Existe um número infinito destes universos paralelos para um buraco negro de Kerr, mas não se pode retornar depois de entrar em um deles. Ainda não se conhece a estabilidade de um buraco de minhoca no centro de um buraco negro de Kerr. Tentar navegar por um buraco negro de Kerr acarreta graves problemas teóricos e práticos.

buraco negro Um objeto cuja velocidade de escape se iguala à velocidade da luz. Como a velocidade da luz é a velocidade máxima no universo, isto significa que nada pode escapar de um buraco negro, uma vez tendo o objeto cruzado o horizonte de eventos. Os buracos negros podem ter vários tamanhos. Buracos negros galácticos, espreitando no centro de galáxias e quasares, podem pesar de

milhões a bilhões de massas solares. Buracos negros estelares são os remanescentes de uma estrela moribunda, talvez originalmente até quarenta vezes a massa do nosso Sol. Esses dois buracos negros foram identificados com nossos instrumentos. Miniburacos negros também podem existir, conforme previsto pela teoria, mas ainda não foram vistos em laboratório.

variedade de Calabi-Yau Um espaço de seis dimensões encontrado quando pegamos a teoria das cordas com dez dimensões, enrolamos e compactificamos seis dimensões numa bolinha, deixando um espaço supersimétrico quadridimensional. Os espaços de Calabi-Yau são multiplamente conexos – isto é, são esburacados, o que pode determinar o número de gerações de quarks que existem no nosso espaço quadridimensional. Eles são importantes na teoria das cordas porque muitas das características destas variedades, como o número de buracos que possuem, podem determinar o número de quarks que existem no nosso universo quadridimensional.

campo de Higgs O campo que quebra a simetria das teorias GUT quando ela faz a transição do falso vácuo para o vácuo verdadeiro. Os campos de Higgs são a origem da massa na teoria GUT e também podem ser usados para gerar a inflação. Os físicos esperam que o LHC finalmente descubra o campo de Higgs.

civilizações do tipo I, II, III A classificação introduzida por Nikolai Kardashev para classificar civilizações no espaço cósmico por sua geração de energia. Elas correspondem a civilizações que podem utilizar a energia de um planeta inteiro, de uma estrela e de uma galáxia, respectivamente. Até agora, nenhuma evidência foi encontrada de qualquer uma delas no espaço. A nossa própria civilização corresponde provavelmente ao tipo 0,7.

COBE O satélite de observação de fundo cósmico, que deu talvez a prova mais conclusiva da teoria do Big Bang medindo a radiação de corpo negro emitida pela bola de fogo original. Seus resultados, desde então, foram bastante aprimorados pelo satélite WMAP.

colisor de átomos O termo coloquial para um acelerador de partículas, um aparelho usado para criar raios de energia subatômica viajando próximos da velocidade da luz. O maior acelerador de partículas é o LHC, a ser concluído nos arredores de Genebra, na Suíça.

compactificação O processo de enrolar ou embrulhar dimensões indesejadas de espaço e tempo. Visto que a teoria das cordas existe num hiperespaço com dez dimensões, e nós vivemos num mundo quadridimensional, devemos, de algum modo, enrolar seis das dez dimensões numa bola tão pequena que nem os átomos possam escapar para dentro delas.

comprimento de Planck 10^{-33} cm. Esta é a escala encontrada no Big Bang, na qual a força gravitacional era tão forte quanto as outras forças. Nesta escala, o espaço-tempo se torna “espumoso”, com bolhinhas e buracos de minhoca aparecendo e desaparecendo no vácuo.

constante de Hubble A velocidade de uma galáxia com desvio para o vermelho dividida por sua distância. A constante de Hubble mede a velocidade da expansão do universo e o seu inverso correlaciona-se aproximadamente à idade do universo. Quanto menor a constante de Hubble, mais antigo é o universo. O satélite WMAP colocou a constante de Hubble em 71 km/s por milhões de parsecs, ou 21,8 km/s por milhões de anos-luz, encerrando décadas de controvérsias.

cordas cósmicas Um vestígio do Big Bang. Algumas teorias de gauge preveem que restos do Big Bang original poderiam continuar sobrevivendo na forma de cordas cósmicas gigantescas do tamanho de galáxias ou maiores. A colisão de duas cordas cósmicas pode permitir uma certa forma de viagem no tempo.

curvas tipo tempo fechadas São caminhos que voltam no tempo na teoria de Einstein. Elas não são aceitas na relatividade especial, mas sim na relatividade geral, se tivermos uma concentração de energia positiva ou negativa grande o suficiente.

decoerência Quando as ondas não estão mais em fase umas com as outras. A decoerência pode ser usada para explicar o paradoxo do gato de Schrödinger. Na interpretação de muitos mundos, as funções de onda do gato morto e do gato vivo perderam a coerência uma com a outra e, portanto, não mais interagem, solucionando assim o problema de como um gato pode estar ao mesmo tempo morto e vivo. A função de onda do gato morto e a função de onda do gato vivo podem existir simultaneamente, porém não interagem mais porque perderam a coerência. A decoerência simplesmente explica o paradoxo do gato sem mais nenhuma outra hipótese, como o colapso da função de onda.

densidade crítica A densidade do universo onde a expansão do universo está entre a expansão eterna e o recolapso. A densidade crítica, medida em certas unidades, é Ômega = 1 (onde Lambda = 0), em que o universo equilibra-se exatamente entre dois futuros alternados, o grande congelamento e a grande implosão. Hoje, os melhores dados do satélite WMAP indicam que Ômega + Lambda = 1, o que se encaixa na previsão da teoria da inflação.

desvio para o azul O aumento na frequência da luz estelar por causa do desvio Doppler. Se uma estrela amarela se move na sua direção, a luz que ela emite parecerá ligeiramente azulada. No espaço cósmico, as galáxias com desvio para

o azul são raras. O desvio para o azul também pode ser criado encolhendo-se o espaço entre dois pontos através da gravitação ou de deformações espaciais.

desvio para o vermelho O avermelhamento ou diminuição da frequência da luz de galáxias distantes devido ao efeito Doppler, indicando que elas estão se afastando de nós. O desvio para o vermelho também ocorre pela expansão de espaço vazio, como no universo em expansão.

detector de onda gravitacional Uma nova geração de aparelhos que medem minúsculas perturbações devido a ondas gravitacionais através de raios laser. Os detectores de ondas gravitacionais como o LIGO talvez as descubram em breve. Os detectores de ondas gravitacionais podem ser usados para analisar a radiação emitida até um trilionésimo de segundo após o Big Bang. O detector espacial de onda gravitacional LISA pode até dar a primeira evidência experimental da teoria das cordas ou alguma outra teoria.

determinismo A filosofia de que tudo é predeterminado, inclusive o futuro. Segundo a mecânica newtoniana, se sabemos a velocidade e posição de todas as partículas no universo, então podemos, em princípio, calcular a evolução do universo inteiro. O princípio da incerteza, entretanto, provou que o determinismo está errado.

deutério O núcleo de hidrogênio pesado, que consiste de um próton e um neutron. O deutério no espaço cósmico foi criado principalmente pelo Big Bang, não pelas estrelas, e sua abundância relativa permite o cálculo das condições iniciais do Big Bang. A abundância de deutério também pode ser usada para refutar a teoria do estado estacionário.

dimensão A coordenada ou parâmetro pelo qual medimos o espaço e tempo. Nosso universo conhecido tem três dimensões de espaço (comprimento, largura e profundidade) e uma dimensão de tempo. Na teoria das cordas e na teoria M, precisamos de dez (onze) dimensões para descrever o universo, das quais apenas quatro podem ser observadas em laboratório. Talvez a razão para não vermos estas outras dimensões seja porque elas estão enroladas ou porque nossas vibrações estejam confinadas à superfície de uma membrana.

efeito Casimir Energia negativa criada por duas placas paralelas sem carga, infinitamente longas, colocadas uma perto da outra. As partículas virtuais externas às placas exercem mais pressão do que as partículas virtuais dentro das placas, e portanto as placas são mutuamente atraídas. Este efeito minúsculo tem sido medido em laboratório. O efeito Casimir pode ser usado como a energia para impulsionar uma máquina do tempo ou buraco de minhoca, se ela for grande o suficiente.

efeito Doppler A mudança na frequência de uma onda, à medida que um objeto se aproxima ou se afasta de você. Se uma estrela se move na sua direção, a frequência da luz aumenta, portanto uma estrela amarela parece ligeiramente azulada. Se uma estrela se afasta de você, a frequência da sua luz diminui, então uma estrela amarela parece ligeiramente avermelhada. Essa mudança na frequência da luz também pode ser criada expandindo-se o espaço entre os dois pontos, como no universo em expansão. Medindo a quantidade de mudança na frequência, você pode calcular a velocidade com que uma estrela está se afastando de você.

elétron Uma partícula subatômica de carga negativa que cerca o núcleo de um átomo. O número de elétrons em volta do átomo determina as propriedades químicas do átomo.

elétron-volt A energia que um elétron acumula quando atravessa uma diferença de potencial de um volt. Em comparação, as reações químicas normalmente envolvem energias medidas em elétron-volts, ou menos, enquanto as reações nucleares podem envolver centenas de milhões de elétron-volts. As reações químicas comuns implicam reorganizar as camadas dos elétrons. As reações nucleares implicam reorganizar as camadas do núcleo. Hoje, nossos aceleradores de partículas podem gerar partículas com energia na casa de bilhões a trilhões de elétron-volts.

energia de Planck 10^{19} bilhões de elétron-volts. Esta pode ser a escala de energia do Big Bang, onde todas as forças foram unificadas numa única superforça.

energia escura A energia do espaço vazio. Introduzida pela primeira vez por Einstein, em 1917, e depois descartada, esta energia do nada é hoje conhecida como a forma dominante de matéria/energia no universo. A sua origem é desconhecida, mas pode no final levar o universo a um grande congelamento. A quantidade de energia escura é proporcional ao volume do universo. Os dados mais recentes mostram que 73 por cento da matéria/energia do universo está na forma de energia escura.

energia negativa Energia que é menor do que zero. A matéria tem energia positiva, a gravitação tem energia negativa, e as duas podem se anular em muitos modelos cosmológicos. A teoria quântica aceita um tipo diferente de energia negativa, devido ao efeito Casimir e outros efeitos, que podem ser usados para impulsionar um buraco de minhoca. A energia negativa é útil para criar e estabilizar buracos de minhoca.

entropia A medida da desordem ou caos. Segundo a segunda lei da

termodinâmica, a entropia total no universo cresce sempre, o que significa que tudo deve acabar esgotando-se. Aplicada ao universo, isso quer dizer que o universo tenderá para um estado de entropia máxima, como um gás uniforme próximo do zero absoluto. Para reverter a entropia numa pequena região (como uma geladeira), é preciso acrescentar energia mecânica. Mas até numa geladeira, a entropia total aumenta (é por isso que a parte de trás é quente). Há quem acredite que a segunda lei prevê a morte do universo.

equação de Maxwell As equações fundamentais para a luz, escritas pela primeira vez por James Clerk Maxwell, na década de 1860. Estas equações mostram que os campos elétrico e magnético podem se transformar um no outro. Maxwell mostrou que estes campos se transformam uns nos outros num movimento semelhante a uma onda, criando um campo eletromagnético que viaja à velocidade da luz. Maxwell, em seguida, fez a ousada conjectura de que isto era luz.

escola de Copenhague A escola fundada por Niels Bohr, que afirma que uma observação é necessária para "colapsar a função de onda" a fim de determinar o estado de um objeto. Antes de se fazer uma observação, um objeto existe em todos os estados possíveis, até os absurdos. Visto que não observamos gatos mortos e vivos existindo simultaneamente, Bohr teve de admitir que existe uma "parede" separando o mundo subatômico do mundo cotidiano que observamos com nossos sentidos. Esta interpretação foi contestada porque separa o mundo quântico do cotidiano, macroscópico, embora muitos físicos agora acreditem que o mundo macroscópico deve também obedecer à teoria quântica. Hoje, graças à nanotecnologia, os cientistas podem manipular átomos individuais, de modo que percebemos que não existe nenhuma "parede" separando os dois mundos. Por conseguinte, o problema do gato ressurge hoje.

espaço multiplamente conexo Um espaço no qual um laço ou volta não pode ser continuamente reduzido a um ponto. Por exemplo, um laço dando a volta na superfície do orifício de uma rosquinha não pode ser contraído até um ponto; portanto, uma rosquinha é multiplamente conexa. Os buracos de minhoca são exemplos de espaços multiplamente conexos, visto que um laço não pode ser contraído ao redor do gargalo de um buraco de minhoca.

espaço simplesmente conexo Um espaço no qual qualquer laço pode ser continuamente apertado até um ponto. O espaço plano é simplesmente conexo, enquanto a superfície de uma rosquinha ou de um buraco de minhoca não é.

espectro As diferentes cores ou frequências encontradas dentro da luz. Analisando o espectro da luz estelar, pode-se determinar que as estrelas são

compostas principalmente de hidrogênio e hélio.

espuma quântica Pequenas distorções espumosas do espaço-tempo ao nível do comprimento de Planck. Se pudéssemos observar o tecido do espaço-tempo no comprimento de Planck, veríamos pequenas bolhas e buracos de minhoca com uma aparência espumosa.

estrela de nêutrons Uma estrela colapsada consistindo em uma massa sólida de nêutrons. Tem em geral cerca de 24 quilômetros de diâmetro. Quando gira, libera energia de modo irregular, criando um pulsar. É o resquício de uma supernova. Se a estrela de nêutrons é bastante grande, cerca de 3 massas solares, ela pode colapsar num buraco negro.

evaporação de buraco negro A radiação que sai de um buraco negro. Existe uma probabilidade minúscula, mas calculável, de que a radiação escapará delicadamente de um buraco negro, o que se chama de evaporação. No final, escapará tanta energia de um buraco negro pela evaporação quântica que ele deixará de existir. Esta radiação é fraca demais para ser observada experimentalmente.

experimento Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) Um experimento projetado para refutar a teoria quântica, mas que na verdade mostrou que o universo não é local. Se uma explosão envia dois fótons coerentes em direções opostas, e se o *spin* é conservado, então o *spin* de um fóton é o oposto do *spin* do outro. Por conseguinte, ao medir um *spin*, automaticamente se conhece o *spin* do outro, mesmo que a outra partícula esteja do outro lado do universo. A informação portanto espalhou-se mais rápido do que a luz. (Entretanto, nenhuma informação utilizável, como uma mensagem, pode ser enviada assim.)

falso vácuo Um estado de vácuo que não tem a energia mais baixa. O estado de falso vácuo pode ter simetria perfeita, talvez no instante do Big Bang, de modo que esta simetria se quebra quando vamos para um estado de energia mais baixa. Um estado de falso vácuo é inerentemente instável, e inevitavelmente é feita uma transição para um vácuo verdadeiro, que tem energia mais baixa. A ideia do falso vácuo é essencial para a teoria inflacionária, onde o universo começou num estado de expansão de De Sitter.

férmion Uma partícula subatômica com *spin* semi-inteiro, como o próton, o elétron, o nêutron e o quark. Os férmions podem ser unificados com bósons pela supersimetria.

física clássica A física anterior ao advento da teoria quântica, baseada na teoria determinista de Newton. A teoria da relatividade, porque não incorpora o princípio da incerteza, é parte da física clássica. A física clássica é determinista –

isto é, podemos prever o futuro com base nos movimentos de todas as partículas no presente.

flutuação quântica Minúsculas variações da teoria clássica de Newton ou de Einstein, devido ao princípio da incerteza. O universo em si pode ter começado como uma flutuação quântica do nada (hiperespaço). As flutuações quânticas no Big Bang nos dão os aglomerados galácticos de hoje. O problema da gravitação quântica, que durante muitas décadas foi um obstáculo para uma teoria de campo unificada, é que as flutuações quânticas da teoria da gravitação são infinitas, o que não faz sentido. Até agora, apenas a teoria das cordas pode banir estas flutuações infinitas da gravitação quântica.

força eletromagnética A força da eletricidade e do magnetismo. Quando elas vibram em uníssono, criam uma onda que pode descrever a radiação ultravioleta, rádio, raios gama e assim por diante, os quais obedecem à equação de Maxwell. A força eletromagnética é uma das quatro forças que governam o universo.

força nuclear forte A força que mantém unido o núcleo. É uma das quatro forças fundamentais. Os físicos usam a cromodinâmica quântica para descrever as interações fortes, baseadas em quarks e glúons com simetria $SU(_3)$.

força nuclear fraca A força dentro do núcleo que torna possível o decaimento nuclear. Esta força não é forte o bastante para manter unido o núcleo, portanto o núcleo pode se dividir. A força fraca age sobre os léptons (elétrons e neutrinos) e é transportada pelos bósons-W e Z.

fóton Uma partícula ou quantum de luz. O fóton foi proposto pela primeira vez por Einstein para explicar o efeito fotoelétrico – isto é, o fato de que a luz que incide sobre um metal resulta na ejeção de elétrons.

função de onda A onda que acompanha cada partícula subatômica. É a descrição matemática da onda de probabilidade localizando a posição de qualquer partícula. Schrödinger foi o primeiro a escrever as equações para a função de onda de um elétron. Na teoria quântica, a matéria é composta de partículas pontuais, mas a probabilidade de encontrar a partícula é dada pela função de onda. Dirac, mais tarde, propôs uma equação de onda que incluía a relatividade especial. Hoje, tudo na física quântica, inclusive a teoria das cordas, é formulado nos termos destas ondas.

fusão O processo de combinar prótons ou outros núcleos leves de modo que formem núcleos pesados, liberando energia no processo. A fusão de hidrogênio em hélio cria a energia de uma estrela da sequência principal, como o nosso Sol. A fusão dos elementos leves no Big Bang nos dá a abundância relativa de

elementos leves, como o hélio.

galáxia Um enorme conjunto de estrelas, em geral da ordem de 100 bilhões delas. São de diversas variedades, inclusive elípticas, espirais (normais e espirais barradas) e irregulares. A nossa galáxia é chamada de Via Láctea.

gigante vermelha Uma estrela que queima hélio. Depois que uma estrela como o nosso Sol esgota o seu combustível de hidrogênio, ela começa a se expandir e formar uma estrela gigante vermelha queimando hélio. Isto significa que a Terra finalmente morrerá queimada quando o nosso Sol se tornar uma gigante vermelha, daqui a uns 5 bilhões de anos.

grande congelamento O fim do universo quando ele chegar próximo do zero absoluto. O grande congelamento é provavelmente o estado final do nosso universo, porque acredita-se que a soma de Ômega e Lambda seja 1,0, e portanto o universo está num estado de inflação. Não há matéria e energia suficientes para reverter à expansão original do universo, então ele provavelmente vai se expandir para sempre.

grande implosão O colapso final do universo. Se a densidade de matéria é grande o bastante (sendo Ômega maior do que 1), então existe matéria suficiente no universo para inverter a expansão original e fazê-lo recolapsar. As temperaturas sobem ao infinito no instante da grande implosão.

gravitação quântica Uma forma da gravitação que obedece ao princípio quântico. Quando a gravitação é quantizada, encontramos um pacote de gravidade que é chamado gráviton. Em geral, quando a gravitação é quantizada, descobrimos que suas flutuações quânticas são infinitas, o que torna a teoria inútil. Atualmente, a teoria de cordas é a única candidata que pode remover estes infinitos.

gráviton Uma partícula subatômica conjecturada que representa os quanta da gravitação. O gráviton tem *spin* 2. É pequeno demais para ser visto em laboratório.

GUT – Teoria de grande unificação A teoria que unifica as interações fraca, forte e eletromagnética (sem a gravitação). A simetria das teorias GUT, como $SU(_5)$, mistura os quarks com os léptons. O próton não é estável nestas teorias e pode decair em pósitrons. As teorias GUT são inerentemente instáveis (a não ser que se acrescente a supersimetria). As teorias GUT também não têm gravidade. (O acréscimo da gravitação às teorias GUT as faz divergir com os infinitos.)

hiperespaço Dimensões acima de quatro. A teoria das cordas (teoria M) prevê que deveria haver dez (onze) dimensões hiperespaciais. No presente, não há

dados experimentais que indiquem a existência dessas dimensões superiores, que podem ser pequenas demais para se medir.

horizonte de eventos O ponto sem volta que cerca um buraco negro, muitas vezes chamado de horizonte. Acreditava-se que era uma singularidade de gravidade infinita, mas mostrou-se ser um artefato das coordenadas usadas para descrevê-lo.

horizonte O ponto mais distante que você enxerga. Cercando um buraco negro, há uma esfera mágica, no raio de Schwarzschild, que é o ponto de não retorno.

inflação caótica Uma versão de inflação, proposta por Andrei Linde, onde ocorre inflação aleatoriamente. Isto significa que os universos podem gerar outros universos de um modo contínuo e caótico, criando um multiverso. A inflação caótica é uma maneira de solucionar o problema do fim da inflação, visto que agora temos a geração aleatória de universos inflados de todos os tipos.

inflação A teoria que afirma que o universo sofreu uma quantidade incrível de expansão superluminal no instante do seu nascimento. A inflação pode solucionar os problemas do achatamento, do monopolo e do horizonte.

interferência A mistura de duas ondas que são ligeiramente diferentes em fase ou frequência, criando um padrão de interferência característico. Analisando-se este padrão, pode-se detectar minúsculas diferenças entre duas ondas que diferem apenas por uma quantidade extremamente pequena.

interferometria O processo de usar a interferência de ondas de luz para detectar diferenças muito pequenas nas ondas de duas fontes diferentes. A interferometria pode ser usada para medir a presença de ondas gravitacionais e outros objetos que são normalmente difíceis de detectar.

isótopo Uma substância química que tem o mesmo número de prótons de um elemento, mas com um número diferente de nêutrons. Os isótopos têm as mesmas propriedades químicas, mas têm pesos diferentes.

Lambda A constante cosmológica, que mede a quantidade de energia escura no universo. Atualmente, os dados sustentam que Ômega + Lambda = 1, o que se encaixa na previsão da inflação para um universo plano. Lambda, que já se considerou ser zero, hoje, sabe-se que determina o destino final do universo.

laser Um aparelho para criar radiação de luz coerente. “Laser” significa Amplificação Através da Emissão Simulada de Radiação (Light Amplification through Stimulated Emission of Radiation). Em princípio, o único limite para a energia contida num raio laser é a estabilidade do material submetido aos raios e a fonte de energia.

lei de Hubble Quanto mais distante uma galáxia estiver da terra, mais rápido ela se move. Descoberta por Edwin Hubble, em 1929, esta observação concorda com a teoria de Einstein sobre um universo em expansão.

leis de conservação As leis que definem que certas quantidades jamais mudam com o tempo. Por exemplo, a conservação da matéria e da energia postula que a quantidade total de matéria e energia no universo é constante.

lépton Uma partícula que interage fracamente, como o elétron e o neutrino, e suas gerações mais pesadas, como o múon. Os físicos acreditam que toda a matéria consiste de hádrons e léptons (partículas que interagem forte e fracamente).

LHC O Grande Colisor Hadron (Large Hadron Collider), um acelerador de partículas para criar feixes energéticos de prótons, sediado em Genebra, Suíça. Quando estiver pronto, colidirá partículas com energia não vistas desde o Big Bang. Espera-se que a partícula de Higgs e as partículas sejam encontradas pelo LHC depois da sua inauguração em 2007.

LIGO O Laser Interferometry Gravitational-Wave Observatory, sediado no estado de Washington e na Louisiana, é o maior detector de ondas gravitacionais. Entrou em funcionamento em 2003.

limite de Chandrasekhar É de 1,4 massas solares. Acima desta massa, a gravidade de uma estrela anã branca é tão intensa que ela superará a pressão de degenerescência do elétron e esmagará a estrela, criando uma supernova. Por conseguinte, todas as estrelas anãs brancas que observamos no universo têm massa menor do que 1,4 massas solares.

LISA A Laser Interferometry Space Antenna é uma série de três satélites espaciais que usam raios laser para medir ondas gravitacionais. Pode ser sensível o bastante para confirmar ou refutar a teoria inflacionária e, possivelmente, até a teoria das cordas, quando for lançada daqui a algumas décadas.

MACHO (Massive Compact Halo Object) Estes objetos são estrelas, planetas e asteroides escuros e aqueles difíceis de serem detectados com telescópios óticos, e talvez componham uma parte da matéria escura. Os dados mais recentes indicam que o grosso da matéria escura não é bariônica e não é feita de MACHOs.

matéria escura Matéria invisível, que tem peso, mas não interage com a luz. A matéria escura é encontrada, em geral, num enorme halo em torno de galáxias. Supera em dez vezes a matéria comum. A matéria escura pode ser medida indiretamente porque ela curva a luz estelar devido a sua gravidade, um tanto

semelhante ao modo como o vidro curva a luz. A matéria escura, segundo os dados mais recentes, compõe 23 por cento do conteúdo total de matéria/energia do universo. Segundo a teoria das cordas, a matéria escura pode ser feita de partículas subatômicas, como o neutralino, que representam vibrações mais altas da supercorda.

matéria exótica Uma nova forma de matéria com energia negativa. É diferente da antimatéria, que tem energia positiva. A matéria negativa teria antigravidade, portanto cairia para cima e não para baixo. Se ela existe, poderia ser usada para impulsionar uma máquina do tempo. Mas nunca foi encontrada.

mecânica quântica A teoria quântica completa proposta em 1925, que substituiu a "velha teoria quântica" de Planck e Einstein. Diferentemente da velha teoria quântica, que era um híbrido de antigos conceitos clássicos e ideias quânticas mais novas, a mecânica quântica baseia-se em equações de onda e no princípio da incerteza, e representa um rompimento significativo com a física clássica. Nenhum desvio da mecânica quântica jamais foi encontrado em laboratório. Sua versão mais avançada hoje chama-se teoria quântica de campos, que combina relatividade especial e mecânica quântica. Uma teoria da gravitação totalmente quântica, entretanto, é dificílima.

membrana Uma superfície estendida, de qualquer dimensão. Uma zero-brana é uma partícula pontual. Uma uma-brana é uma corda. Uma duas-brana é uma membrana. As membranas são uma característica especial da teoria M. As cordas podem ser vistas como membranas com uma dimensão compactificada.

Modelo Padrão A mais bem-sucedida teoria quântica das interações fraca, eletromagnética e forte. Baseia-se na simetria $SU(_3)$ dos quarks, a simetria $SU(_2)$ de elétrons e neutrinos, e a simetria $U(_1)$ da luz. Ele contém uma grande coleção de partículas: quarks, glúons, léptons, bósons-W e Z e partículas de Higgs. Não pode ser a teoria de tudo porque: (a) falta qualquer menção de gravitação; (b) tem dezenove parâmetros livres que foram fixados à mão; e (c) tem três gerações idênticas de quarks e léptons, o que é redundante. O Modelo Padrão pode ser assimilado numa teoria GUT e, finalmente, numa teoria das cordas, mas, no presente, não há evidência experimental nem de uma nem de outra.

monopolo Um único polo de magnetismo. Em geral, os ímãs têm um par inseparável de polos norte e sul, de modo que monopolos jamais foram vistos de forma conclusiva em laboratório. Os monopolos deveriam ter sido criados em quantidades copiosas no Big Bang, mas não encontramos nenhum hoje, provavelmente porque a inflação reduziu o seu número.

multiverso Universos múltiplos. Uma vez visto como altamente especulativo,

hoje o conceito do multiverso é considerado essencial para a compreensão do início do universo. Existem várias formas do multiverso, todas intimamente relacionadas. Qualquer teoria quântica tem um multiverso de estados quânticos. Aplicado ao universo, isso significa que deve haver um número infinito de universos paralelos que perderam a coerência uns com os outros. A teoria da inflação introduz o multiverso para explicar o processo de como a inflação começou e depois parou. A teoria das cordas introduz o multiverso por causa do seu grande número de soluções possíveis. Na teoria M, estes universos podem, na verdade, colidir uns com os outros. Com bases filosóficas, introduz-se o multiverso para explicar o princípio antrópico.

múon Uma partícula subatômica idêntica ao elétron, mas com uma massa muito maior. Ela pertence à segunda geração redundante de partículas encontradas no Modelo Padrão.

neutrino Uma partícula subatômica fantasmagórica quase sem massa. Os neutrinos reagem muito fracamente com as outras partículas e podem penetrar vários anos-luz de chumbo sem jamais interagir com coisa alguma. Eles são emitidos em copiosas quantidades a partir das supernovas. O número de neutrinos é tão grande que eles podem aquecer o gás que circunda a estrela em colapso, criando portanto a explosão da supernova.

nêutron Uma partícula subatômica neutra que, junto com o próton, compõe os núcleos dos átomos.

núcleo O minúsculo centro de um átomo, consistindo de prótons e nêutrons, que tem mais ou menos 10^{-13} cm de diâmetro. O número de prótons num núcleo determina o número de elétrons na órbita em torno do núcleo, que, por sua vez, determina as propriedades químicas do átomo.

nucleossíntese A criação de núcleos mais pesados que o do hidrogênio, começando do Big Bang. Deste modo, pode-se obter a abundância relativa de todos os elementos encontrados na natureza. Esta é uma das três “provas” do Big Bang. Os elementos mais pesados são cozidos no centro das estrelas. Os elementos além do ferro são cozidos numa explosão de supernova.

Ômega Parâmetro que mede a densidade média de matéria no universo. Se Lambda = 0, e Ômega é menor que 1, então o universo vai se expandir para sempre até um grande congelamento. Se Ômega é maior que 1, então existe matéria suficiente para reverter a expansão até uma grande implosão. Se Ômega é igual a 1, então o universo é plano.

onda gravitacional Uma onda de gravitação, prevista pela teoria da relatividade geral de Einstein. Esta onda foi medida indiretamente analisando-se o

envelhecimento dos pulsares que giram um em torno do outro.

paradoxo de Olbers O paradoxo que pergunta por que o céu noturno é preto. Se o universo é infinito e uniforme, então devemos receber luz de um número infinito de estrelas, e portanto o céu deveria ser branco, o que desrespeita a observação. Este paradoxo é explicado pelo Big Bang e a vida finita das estrelas. O Big Bang produz um corte na luz que vem do espaço cósmico e atinge os nossos olhos.

paradoxo do avô Nas histórias de viagens no tempo, este é o paradoxo que surge quando se altera o passado, tornando o presente impossível. Se você volta no tempo e mata seus pais antes de nascer, então a sua própria existência é impossível. Este paradoxo pode ser resolvido seja impondo autoconsistência, de modo que você possa viajar ao passado, mas não mudá-lo arbitrariamente, ou admitindo a existência de universos paralelos.

paradoxo do gato de Schrödinger O paradoxo que pergunta se um gato pode estar morto e vivo ao mesmo tempo. Segundo a teoria quântica, um gato dentro de uma caixa pode estar morto e vivo simultaneamente, pelo menos até que façamos uma observação, o que parece absurdo. Devemos somar a função de onda de um gato em todos os estados possíveis (morto, vivo, correndo, dormindo, comendo e daí por diante) até que uma medida seja feita. Existem duas maneiras principais de resolver o paradoxo, seja supondo que a consciência determina a existência ou admitindo um número infinito de mundos paralelos.

partículas virtuais Partículas que disparam rapidamente para dentro e para fora do vácuo. Elas violam as leis de conservação conhecidas, mas apenas por um breve período de tempo, através do princípio da incerteza. As leis de conservação, em seguida, operam como uma média no vácuo. As partículas virtuais podem às vezes se tornar partículas reais se é acrescentada energia suficiente ao vácuo. Numa escala microscópica, estas partículas virtuais podem incluir buracos de minhoca e universos-bebês.

planeta extrassolar Um planeta que orbita uma estrela que não é a nossa. Mais de uma centena desses planetas já foram detectados a uma taxa de uns dois por mês. A maioria, infelizmente, parece-se com Júpiter e não é favorável à criação da vida. Em poucas décadas, satélites serão enviados ao espaço cósmico para identificar planetas extrassolares semelhantes à Terra.

ponte Einstein-Rosen Um buraco de minhoca formado pela união de duas soluções de buraco negro. Originalmente, a solução representaria uma partícula subatômica, como o elétron, na teoria de campo unificada de Einstein. Desde então, ela tem sido usada para descrever o espaço-tempo próximo do centro de

um buraco negro.

potências de dez Notação taquigráfica usada por cientistas para denotar números muito grandes ou muito pequenos. Assim, 10^n significa 1 seguido de *n* zeros. Mil, portanto, é 10^3. Também, 10^{-n} significa o inverso de 10^n – isto é, 0,00 ... 001, onde existem *n* – 1 zeros. Um milésimo, portanto, é 10^{-3} ou 0,001.

pressão de degenerescência do elétron Numa estrela moribunda, esta é a força repulsiva que impede elétrons e nêutrons de colapsarem totalmente. Para uma estrela anã branca, isto significa que a sua gravidade pode superar esta força se a sua massa for maior do que 1,4 massa solar. Esta força se deve ao princípio de exclusão de Pauli, que afirma que dois elétrons não podem ocupar exatamente o mesmo estado quântico. Se a gravidade é suficientemente grande para superar esta força numa estrela anã branca, ela vai entrar em colapso e em seguida explodir.

princípio antrópico O princípio que diz que as constantes da natureza estão sintonizadas para permitir vida e inteligência. O princípio antrópico forte conclui que foi necessário algum tipo de inteligência para sintonizar as constantes físicas para que houvesse inteligência. O princípio antrópico fraco simplesmente afirma que as constantes da natureza devem estar sintonizadas para existir inteligência (de outro modo, não estaríamos aqui), mas deixa em aberto a questão do quê ou quem fez a sintonia. Experimentalmente, descobrimos que, na verdade, as constantes da natureza parecem estar finamente sintonizadas para permitir a vida e até a consciência. Alguns acreditam que este é o sinal de um criador cósmico. Outros acreditam que este é um sinal do multiverso.

princípio da incerteza O princípio que afirma que não se pode saber a localização e a velocidade de uma partícula com precisão infinita. A incerteza na posição de uma partícula, multiplicada pela incerteza no seu momentum, deve ser maior ou igual à constante de Planck dividida por 2π. O princípio da incerteza é o componente mais essencial da teoria quântica, introduzindo a probabilidade no universo. Devido à nanotecnologia, os físicos podem manipular átomos individuais à vontade e, por conseguinte, testar o princípio da incerteza no laboratório.

problema da hierarquia A mistura indesejada que ocorre entre a física de baixa energia e a física no comprimento de Planck nas teorias GUT, tornando-as inúteis. O problema da hierarquia pode ser solucionado acrescentando-se a supersimetria.

problema do achatamento A sintonia fina necessária para ter um universo plano. Para Ômega ser mais ou menos igual a 1, ele tinha de estar sintonizado

com incrível precisão no instante do Big Bang. Experimentos atuais mostram que o universo é plano: então, ou ele sofreu a sintonia fina no momento do Big Bang ou inflou, ficando achatado.

problema do horizonte O mistério de o universo ser tão uniforme, não importa para onde olhemos. Mesmo regiões do céu noturno em lados opostos do horizonte são uniformes, o que é estranho, porque poderiam não estar em contato térmico no início dos tempos (visto que a luz tem uma velocidade finita). Isto pode ser explicado se o Big Bang pegou um pedacinho uniforme e depois o inflou até o universo atual.

próton Uma partícula subatômica de carga positiva que, junto com os nêutrons, compõe os núcleos dos átomos. Elas são estáveis, mas a teoria GUT prevê que podem decair após um longo período de tempo.

pulsar Uma estrela de nêutrons em rotação. Como é irregular, é semelhante a um farol marítimo girando, parecendo uma estrela piscando.

quark Uma partícula subatômica que compõe o próton e o nêutron. Três quarks fazem um próton ou nêutron, e um quark mais um antiquark fazem um méson. Os quarks, por sua vez, são parte do Modelo Padrão.

quasar Objeto quase-estelar. São galáxias imensas formadas logo depois do Big Bang. Possuem enormes buracos negros no seu centro. O fato de não vermos quasares hoje foi um caminho para refutar a teoria do estado estacionário, que diz que o universo, atualmente, é semelhante ao universo bilhões de anos atrás.

quebra de simetria A quebra de simetria encontrada na teoria quântica. Pensava-se que o universo estava em perfeita simetria antes do Big Bang. Desde então, o universo resfriou e envelheceu, e, por conseguinte, as quatro forças fundamentais e suas simetrias se quebraram. Hoje, o universo está terrivelmente quebrado, com todas as forças separadas uma das outras.

radiação coerente A radiação que está em fase consigo mesma. A radiação coerente, como a encontrada num raio laser, pode ser colocada interferindo consigo mesma, produzindo padrões de interferência capazes de detectar pequenos desvios no movimento ou na posição. Isto é útil em interferômetros e detectores de ondas gravitacionais.

radiação de corpo negro A radiação emitida por um objeto quente em equilíbrio térmico com seu ambiente. Se pegarmos um objeto oco (um corpo negro), aquecê-lo, esperar que chegue ao equilíbrio térmico e fizermos um furo nele, a radiação emitida pelo orifício será a radiação de corpo negro. O Sol, um atiçador de brasas quente e o magma derretido, todos emitem aproximadamente

uma radiação de corpo negro. A radiação tem uma dependência com a frequência específica que é facilmente medida com um espectrômetro. A radiação de fundo de microondas que enche o universo obedece a esta fórmula de corpo negro, dando evidência concreta ao Big Bang.

radiação de fundo de microondas cósmico A radiação residual que sobrou do Big Bang que continua circulando no universo, prevista pela primeira vez em 1948, por George Gamow e seu grupo. A sua temperatura é de 2,7 graus acima do zero absoluto. Sua descoberta por Penzias e Wilson deu a "prova" mais convincente do Big Bang. Hoje, os cientistas medem minúsculos desvios dentro desta radiação de fundo para encontrar evidências de inflação e outras teorias.

radiação de fundo de microondas A radiação original remanescente do Big Bang, com uma temperatura de cerca de 2,7 graus K. Minúsculos desvios desta radiação de fundo deram aos cientistas dados valiosos que podem comprovar ou descartar muitas teorias cosmológicas.

radiação de Hawking A radiação que lentamente evapora de um buraco negro. Esta radiação está na forma de radiação de corpo negro, com uma temperatura específica, e se deve ao fato de as partículas quânticas poderem penetrar no campo gravitacional que cerca um buraco negro.

radiação infravermelha Radiação de calor ou radiação eletromagnética com frequência ligeiramente inferior à da luz visível.

raio de Schwarzschild O raio do horizonte de eventos ou o ponto sem volta de um buraco negro. Para o Sol, o raio de Schwarzschild é de mais ou menos três quilômetros. Depois de comprimida dentro do seu horizonte de eventos, uma estrela colapsa num buraco negro.

relatividade A teoria de Einstein, tanto especial quanto geral. A primeira teoria ocupa-se de luz e do espaço-tempo quadridimensional plano. Baseia-se no princípio de que a velocidade da luz é constante em todos os referenciais inerciais. A segunda teoria trata da gravitação e do espaço curvo. Baseia-se no princípio de que referenciais gravitantes e em aceleração são indistinguíveis. A combinação da relatividade com a teoria quântica representa a soma total de todo conhecimento físico.

relatividade especial A teoria de Einstein, de 1905, baseada na constância da velocidade da luz. As consequências incluem: o tempo é retardado, a massa aumenta e as distâncias encolhem quanto mais rápido você se move. Além disso, matéria e energia estão relacionadas via $E = mc^2$. Uma das consequências da relatividade especial é a bomba atômica.

relatividade geral A teoria da gravitação de Einstein. Em vez de ser uma força, a gravidade é reduzida, na teoria de Einstein, a um subproduto da geometria, de modo que a curvatura de espaço-tempo dá a ilusão de que existe uma força de atração chamada gravidade. Ela foi verificada experimentalmente com uma precisão acima de 99,7 por cento e prevê a existência de buracos negros e o universo em expansão. A teoria, entretanto, deixa de ser válida no centro de um buraco negro ou no instante da criação, onde ela prevê absurdos. Para explicar estes fenômenos, é preciso recorrer a uma teoria quântica.

salto quântico Uma súbita mudança no estado de um objeto que não é permitido classicamente. Os elétrons dentro de um átomo fazem saltos quânticos entre órbitas, liberando ou absorvendo luz no processo. O universo pode ter feito um salto quântico do nada para o nosso universo atual.

simetria Um reembaralhamento ou recombinação de um objeto que o deixa invariável ou o mesmo. Os flocos de neve são invariantes sob uma rotação de um múltiplo de 60 graus. Os círculos são invariantes sob a rotação de qualquer ângulo. O modelo a quark permanece invariante sob um reembaralhamento dos três quarks, dando a simetria $SU(_3)$. As cordas são invariantes sob a supersimetria e também sob deformações conformes da sua superfície. A simetria é crucial na física porque ajuda a eliminar muitas das divergências encontradas na teoria quântica.

singularidade Um estado de gravitação infinita. Na relatividade geral, prevê-se que as singularidades existam no centro de buracos negros e no instante da criação, sob condições bastante gerais. Imagina-se que ela represente a quebra da relatividade geral, obrigando à introdução de uma teoria da gravitação quântica.

sintonia fina O ajuste de um certo parâmetro com incrível precisão. Os físicos não gostam da sintonia fina, considerando-a artificial e inventada, e tentam impor princípios físicos para eliminar a sua necessidade. Por exemplo, uma sintonia fina necessária para explicar um universo plano pode ser explicada pela inflação, e a sintonia fina necessária para solucionar o problema de hierarquia na teoria GUT pode ser solucionada pelo uso da supersimetria.

supernova do tipo Ia A supernova que costuma ser usada como uma vela padrão para medir distâncias. Esta supernova aparece num sistema de estrelas duplas, onde uma estrela anã branca lentamente suga matéria de uma estrela companheira, empurrando-a para além do limite de Chandrasekhar de 1,4 massa solar, fazendo-a explodir.

supernova Uma estrela em explosão. Elas são tão energéticas que podem às vezes brilhar mais do que uma galáxia inteira. Existem vários tipos de

supernovas, sendo a mais interessante a supernova tipo Ia. Todas podem ser usadas como velas padrão para medir distâncias galáticas. As supernovas tipo Ia são originadas quando uma estrela anã branca envelhecendo rouba matéria da sua companheira e é empurrada para além do limite de Chandrasekhar, levando-a de repente a colapsar e depois a explodir.

supersimetria A simetria que faz o intercâmbio entre férmions e bósons. Esta simetria soluciona o problema da hierarquia e também de qualquer divergência remanescente na teoria das supercordas. Isso significa que todas as partículas no Modelo Padrão devem ter parceiras, chamadas spartículas, que até agora nunca foram vistas em laboratório. A supersimetria, em princípio, pode unificar todas as partículas do universo num único objeto.

telescópio de raio X Chandra O telescópio de raios X no espaço cósmico pode observar os céus em busca de emissões de raio X, como as emitidas por um buraco negro ou estrela de nêutrons.

teoria de perturbação O processo pelo qual os físicos solucionam teorias quânticas somando um número infinito de pequenas correções. Quase todo o trabalho na teoria das cordas é feito via teoria da perturbação das cordas, mas alguns dos problemas mais interessantes estão fora do seu alcance, como a quebra da supersimetria. Assim, precisamos de métodos não perturbativos para solucionar a teoria das cordas. No presente, não existe, realmente nenhum modo sistemático.

teoria de cordas heterótica A teoria das cordas fisicamente mais realista. Seu grupo de simetria é E(8) X E(8), que é grande o suficiente para incorporar a simetria do Modelo Padrão. Pode-se demonstrar, via teoria M, que corda heterótica é equivalente às outras quatro teorias de cordas.

teoria de cordas A teoria baseada em minúsculas cordas vibratórias, de tal forma que cada modo de vibração corresponda a uma partícula subatômica. É a única teoria que pode combinar a gravitação com a teoria quântica, tornando-a a principal candidata à teoria de tudo. Só é coerente matematicamente em dez dimensões. A sua versão mais recente chama-se teoria M, que é definida em onze dimensões.

teoria de campo unificada A teoria almejada por Einstein, que unificaria todas as forças da natureza numa única teoria coerente. Hoje, a principal candidata é a teoria das cordas ou teoria M. Einstein originalmente acreditou que a sua teoria de campo unificada poderia absorver tanto a relatividade quanto a teoria quântica numa teoria superior que não exigiria probabilidades. A teoria das cordas, entretanto, é uma teoria quântica e, por conseguinte, introduz

probabilidades.

teoria de Kaluza-Klein A teoria de Einstein formulada em cinco dimensões. Quando reduzida para quatro dimensões, encontramos a teoria usual de Einstein combinada com a teoria da luz de Maxwell. Assim, esta foi a primeira unificação não trivial da luz com a gravitação. Hoje, a teoria de Kaluza-Klein está incorporada na teoria das cordas.

teoria do estado estacionário A teoria que afirma que o universo não teve começo, mas gera constantemente matéria nova à medida que se expande, mantendo a mesma densidade. Esta teoria foi desmentida por várias razões, uma delas sendo a descoberta da radiação de fundo de microondas. Além disso, descobriu-se que quasares e galáxias têm fases evolutivas distintas.

teoria dos muitos mundos A teoria quântica que afirma que todos os universos quânticos possíveis podem existir simultaneamente. Ela soluciona o problema do gato de Schrödinger, afirmando que o universo racha a cada junção quântica, e, por conseguinte, um gato está vivo em um universo, mas morto em outro. Recentemente, um número cada vez maior de físicos tem se manifestado a favor da teoria dos muitos mundos.

teoria M A versão mais avançada da teoria das cordas. A teoria M existe no hiperespaço de onze dimensões, onde duas-branas e cinco-branas podem existir. Há cinco maneiras segundo as quais a teoria M pode ser reduzida a dez dimensões, dando-nos portanto as cinco teorias de supercordas conhecidas, revelando agora que são as mesmas. As equações completas que regem a teoria M são totalmente desconhecidas.

teoria quântica A teoria da física subatômica. É uma das teorias mais bem-sucedidas de todos os tempos. A teoria quântica e a relatividade, juntas, compõem a soma total de todo o conhecimento físico num nível fundamental. Grosseiramente falando, a teoria quântica baseia-se em três princípios: (1) a energia é encontrada em pacotes distintos chamados quanta; (2) a matéria está baseada em partículas pontuais, mas a probabilidade de encontrá-las é dada por uma onda, que obedece à equação de onda de Schrödinger; (3) a medida é necessária para colapsar a onda e determinar o estado final de um objeto. Os postulados da teoria quântica são o inverso dos postulados da relatividade geral, que é determinista e baseada em superfícies suaves. Combinar a relatividade e a teoria quântica é um dos maiores problemas que a física enfrenta hoje em dia.

termodinâmica A física do calor. Existem três leis da termodinâmica: (1) a quantidade total de matéria e energia é conservada; (2) a entropia total sempre aumenta; e (3) não se pode chegar ao zero absoluto. A termodinâmica é essencial

para compreender como o universo poderá morrer.

universo de Friedmann A solução cosmológica mais geral das equações de Einstein baseada num universo uniforme, isotrópico e homogêneo. Esta é uma solução dinâmica, onde o universo pode se expandir até um grande congelamento, colapsar numa grande implosão ou inflar para sempre, dependendo do valor de Ômega e Lambda.

universo de W. de Sitter Uma solução cosmológica para as equações de Einstein que se expande exponencialmente. O termo dominante é uma constante cosmológica que cria esta expansão exponencial. Acredita-se que o universo estava numa fase de W. de Sitter durante a inflação, e que ela lentamente retornou a uma fase de W. de Sitter nos últimos 7 bilhões de anos, criando um universo em aceleração. A origem desta expansão de W. de Sitter não é conhecida.

vácuo Espaço vazio. Mas o espaço vazio, segundo a teoria quântica, está fervilhando de partículas subatômicas virtuais, que duram apenas uma fração de segundo. O vácuo também é usado para descrever a energia mais baixa de um sistema. O universo, acredita-se, passou de um estado de falso vácuo para o vácuo verdadeiro de hoje.

variável Cefeida Uma estrela que varia em luminosidade num ritmo preciso e calculável, e portanto serve como uma “vela padrão” para medidas de distância na astronomia. As variáveis Cefeidas foram decisivas para ajudar Hubble a calcular a distância até as galáxias.

vela padrão Uma fonte de luz que é padronizada e é a mesma em todo o universo, que permite aos cientistas calcular distâncias astronômicas. Quanto mais apagada for a vela padrão, mais distante ela está. Uma vez conhecendo a luminosidade de uma vela padrão, podemos calcular a sua distância. As velas padrão usadas hoje são supernovas do tipo Ia e variáveis Cefeidas.

WIMP Partículas massivas que interagem fracamente. Conjectura-se que WIMPs componham a maior parte da matéria escura do universo. Uma importante candidata para os WIMPs são as spartículas previstas pela teoria das cordas.

zona de Goldilocks A estreita faixa de parâmetros na qual a vida inteligente é possível. Nesta faixa, a Terra e o universo estão “exatamente corretos” para criar os elementos químicos responsáveis pela vida inteligente. Várias zonas de Goldilocks foram descobertas para as constantes físicas do universo, assim como para as propriedades da Terra.

LEITURAS RECOMENDADAS

Adams, Douglas. *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*. Nova York: Pocket Books, 1979.

Adams, Fred e Greg Laughlin. *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity*. Nova York: The Free Press, 1999.

Anderson, Poul. *Tau Zero*. Londres: Victor Gollancz, 1967.

Asimov, Isaac. *The Gods Themselves*. Nova York: Bantam Books, 1972.

Barrow, John D. *The Artful Universe*. Nova York: Oxford University Press, 1995. (referido como Barrow2)

________. *The Universe That Discovered Itself*. Nova York: Oxford University Press, 2000. (referido como Barrow3)

Barrow, John D., e F. Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle*. Nova York: Oxford University Press, 1986. (referido como Barrow1)

Bartusiak, Marcia. *Einstein's Unfinished Symphony: Listening to the Sounds of Space-time*. Nova York: Berkley Books, 2000.

Bear, Greg. *Eon*. Nova York: Tom Doherty Associates Books, 1985.

Bell, E. T. *Men of Mathematics*. Nova York: Simon and Schuster, 1937.

Bernstein, Jeremy. *Quantum Profiles*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1991.

Brian, Denis. *Einstein: A Life*. Nova York: John Wiley, 1996.

Brownlee, Donald e Peter D. Ward. *Rare Earth*. Nova York: Springer-Verlag, 2000.

Calaprice, Alice, org. *The Expanded Quotable Einstein*. Princeton: Princeton University Press, 2000.

Chown, Marcus. *The Universe Next Door: The Making of Tomorrow's Science*. Nova York: Oxford University Press, 2002.

Cole, K. C. *The Universe in a Teacup*. Nova York: Harcourt Brace, 1998.

Crease, Robert e Charles Mann. *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth-Century Physics*. Nova York: Macmillan, 1986.

Croswell, Ken. *The Universe at Midnight: Observations Illuminating the Cosmos*. Nova York: The Free Press, 2001.

Davies, Paul. *How to Build a Time Machine*. Nova York: Penguin Books, 2001. (referido como Davies1)

Davies, P. C. W., e J. Brown. *Superstrings: A Theory of Everything*. Cambridge, R. U.: Cambridge University Press, 1988. (referido como Davies2)

Dick, Philip K. *The Man in the High Castle*. Nova York: Vintage Books, 1990.
Dyson, Freeman. *Imagined Worlds*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1998.
Folsing, Albrecht. *Albert Einstein.* Nova York: Penguin Books, 1997.
Gamow, George. *My World Line: An Informal Biography*. Nova York: Viking Press, 1970. (referido como Gamow1)
________. *One, Two, Three... Infinity.* Nova York: Bantam Books, 1961. (referido como Gamow2)
Goldsmith, Donald. *The Runaway Universe*. Cambridge, Mass.: Perseus Books, 2000.
Goldsmith, Donald e Neil deGrasse Tyson. *Origins*. Nova York: W. W. Norton, 2004.
Gott, J. Richard. *Time Travel in Einstein's Universe*. Boston: Houghton Mifflin Co., 2001.
Greene, Brian. *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*. Nova York: W. W. Norton, 1999. (referido como Greene1)
________. *The Fabric of the Cosmos*. Nova York: W. W. Norton, 2004.
Gribbin, John. *In Search of the Big Bang: Quantum Physics and Cosmology*. Nova York: Bantam Books, 1986.
Guth, Alan. *The Inflationary Universe*. Reading, Penn.: Addison-Wesley, 1997.
Hawking, Stephen W., Kip S. Thorne, Igor Novikov, Timothy Ferris e Alan Lightman. *The Future of Space-time*. Nova York: W. W. Norton, 2002.
Kaku, Michio. *Beyond Einstein: The Cosmic Quest for the Theory of the Universe*. Nova York: Anchor Books, 1995. (referido como Kaku1)
________. *Hyperspace: A Scientific Odyssey Through Time Warps, and the Tenth Dimension*. Nova York: Anchor Books, 1994. (referido como Kaku2)
________. *Quantum Field Theory*. Nova York: Oxford University Press, 1993. (referido como Kaku3)
Kirshner, Robert P. *Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Universe*. Princeton, N. J. Princeton University Press, 2002.
Kowalski, Gary. *Science and the Search for God.* Nova York: Lantern Books, 2003.
Lemonick, Michael D. *Echo of the Big Bang*. Princeton: Princeton University Press, 2003.
Lightman, Alan e Roberta Brawer. *Origins: The lives and Worlds of Modern Cosmologists*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1990.
Margenau, H. e Varghese, R. A., org. *Cosmos, Bios, Theos*. La Salle, Ill.: Open Court, 1992.

Nahin, Paul J. *Time Machines: Time Travel in Physics, Metaphysics, and Science Fiction*. Nova York: Springer-Verlag, 1999.

Niven, Larry. *N-Space*. Nova York: Tom Doherty Associates Books, 1990.

Pais, A. *Einstein Lived Here*. Nova York: Oxford University Press, 1994. (referido como Pais1)

________. *Subtle Is the Lord*. Nova York: Oxford University Press, 1982. (referido como Pais2)

Parker, Barry. *Einstein's Brainchild*. Amherst, N. Y.: Prometheus Books, 2000.

Petters, A. O., H. Levine, J. Wambsganss. *Singularity Theory and Gravitational Lensing*. Boston: Birkhauser, 2001.

Polkinghorne, J. C. *The Quantum World*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1984.

Rees, Martin. *Before the Beginning: Our Universe and Others*. Reading, Mass.: Perseus Books, 1997. (referido como Rees1)

________. *Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe*. Reading, Mass.: Perseus Books, 2000. (referido como Rees2)

________. *Our Final Hour*. Nova York: Perseus Books, 2003. (referido como Rees3)

Sagan, Carl. *Carl Sagan's Cosmic Connection*. Nova York: Cambridge University Press, 2000.

Schilpp, Paul Arthur. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. Nova York: Tudor Publishing, 1951.

Seife, Charles. *Alpha and Omega: The Search for the Beginning and End of the Universe*. Nova York: Viking Press, 2003.

Silk, Joseph. *The Big Bang*. Nova York: W. H. Freeman, 2001.

Smoot, George e Davidson, Keay. *Wrinkles in Time*. Nova York: Avon Books, 1993.

Thorne, Kip S. *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*. Nova York: W. W. Norton, 1994.

Tyson, Neil deGrasse. *The Sky Is Not the Limit*. Nova York: Doubleday, 2000.

Weinberg, Steve. *Dreams of a Final Theory: The Search for the Fundamental Laws of Nature*. Nova York: Pantheon Books, 1992. (referido como Weinberg1)

________. *Facing Up: Science and Its Cultural Adversaries*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2001. (referido como Weinberg2)

________. *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. Nova York: Bantam New Age, 1977. (referido como Weinberg3)

Wells, H. G. *The Invisible Man*. Nova York: Dover Publications, 1992. (referido como Wells1)

________. *The Wonderful Visit*. North Yorkshire, R. U.: House of Status, 2002. (referido como Wells2)

Wilczek, Frank. *Longing for the Harmonies: Themes and Variations from Modern Physics*. Nova York: W. W. Norton, 1988.

Zee, A. *Einstein's Universe*. Nova York: Oxford University Press, 1989.

Título Original

PARALLEL WORLDS
A journey through creation, higher dimensions, and the future of the cosmos

Copyright © 2005 Michio Kaku

RYTA VINAGRE

Coordenação Digital
LÚCIA REIS

Assistente de Produção Digital

JOANA DE CONTI

Revisão de arquivo ePub

CIP-Brasil. Catalogação na Publicação.
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

K19m
Kaku, Michio
Mundos paralelos [recurso eletrônico] : uma jornada através da criação, das dimensões superiores e do futuro do cosmo / Michio Kaku ; tradução Talita M. Rodrigues. - 1. ed. - Rio de Janeiro : Rocco Digital, 2014.
recurso digital

Tradução de: Parallel worlds: a journey through creation, higher dimensions, and the future of the cosmos
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-8122-483-1 (recurso eletrônico)

1. Cosmologia. 2. Teoria do big bang. 3. Teoria das supercordas. 4. Supergravidade. 5. Livros eletrônicos. I. Título.

14-16166 CDD: 523.1
CDU: 524.8

O texto deste livro obedece às normas do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

O AUTOR

Michio Kaku é professor catedrático de Física Teórica na City University, de Nova York. Escreveu vários livros de sucesso, incluindo Hiperespaço, publicado pela Rocco e citado como uma excelente obra científica pelo The New York Times e o The Washington Post.